

**А. Ф. ЗАЦЕПИН  
Д. Ю. БИРЮКОВ**

# СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Учебно-методическое пособие





Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

А. Ф. Зацепин, Д. Ю. Бирюков

**Современные  
компьютерные дефектоскопы  
для ультразвуковых исследований  
и неразрушающего контроля**

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методическим советом УрФУ  
для студентов, обучающихся по программе бакалавриата  
по направлениям подготовки «Стандартизация и метрология»  
и «Приборостроение»

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2016

УДК 620.179.16.05(075.8)

ББК 34.204.013.2-5я73

3-38

Рецензенты:

кафедра «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС,

(завкафедрой д-р техн. наук, проф. *Г. Л. Аккерман*);

канд. физ.-мат. наук, доц. *Ю. В. Щапова* (ИГГ УрО РАН)

Научный редактор — д-р техн. наук, проф. *В. Н. Костин*

**Зацепин, А. Ф.**

3-38 Современные компьютерные дефектоскопы для ультразвуковых исследований и неразрушающего контроля : учеб.-метод. пособие / А. Ф. Зацепин, Д. Ю. Бирюков. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 120 с.

ISBN 978-5-7996-1939-8

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения аппаратурной базы в курсах «Методы и средства измерений и контроля», «Акустический контроль», «Методы и средства контроля качества». В работе описаны основные характеристики и информационные возможности ультразвуковых систем измерения PCUS-10, ИНТРОТЕСТ-1 М и УД2 В-П45, предназначенных для выполнения акустических измерений с накоплением и последующей цифровой обработкой результатов. Изложены практические основы использования систем PCUS-10, ИНТРОТЕСТ-1 М и УД2 В-П45 для измерений акустических параметров материалов и ультразвуковых датчиков.

Библиогр.: 8 назв. Табл. 10. Рис. 31.

УДК 620.179.16.05(075.8)

ББК 34.204.013.2-5я73

ISBN 978-5-7996-1939-8

© Уральский федеральный  
университет, 2016

## Введение

---

**Р**азвитие современных технологий неразрушающего контроля требует усовершенствования существующей аппаратной базы. В области ультразвуковой дефектоскопии важнейшей тенденцией такого развития является компьютеризация не только процесса обработки получаемой информации, но и самой процедуры УЗ-измерений. Новое поколение ультразвуковых дефектоскопов представляет собой электронную микропроцессорную систему, позволяющую осуществлять акустические измерения, накопление и последующую обработку результатов. В принципе, такой УЗ-дефектоскоп общего назначения может быть получен посредством установки в обычный персональный компьютер специальной платы.

Ультразвуковые компьютерные системы представляют собой электронные устройства, предназначенные для формирования лабораторного исследовательского комплекса для акустических измерений. Достоинства таких комплексов состоят в возможности представления информации в цифровом виде, большом объеме памяти, высокой скорости обработки данных, хранении нескольких подпрограмм одновременно и трансляции полученных результатов в другие исследовательские подпрограммы и технические или аналитические пакеты. В связи с этим становится возможным более эффективное применение ультразвуковых систем подобного типа для исследования свойств материалов.

Знание акустических характеристик исследуемых образцов позволяет получить важные сведения о структуре и физико-механических свойствах вещества, из которого они состоят. С помощью данной системы можно получать детальную информацию о скорости звука, коэффициенте затухания, акустическом импедансе материала при использовании УЗ-колебаний различного вида. Как показывает опыт, возможно изучение параметров акустических шумов в зависимости от плотности, микроструктуры (размера зерна), пористости и других свойств материала. Можно полагать, что в ближайшей перспективе ультразвуковые компьютерные системы получат достаточно широкое распространение в исследовательской практике.

Изучение ультразвуковых компьютерных систем, физических основ и принципов экспериментальной реализации акустического контроля с их помощью, а также приобретение практических навыков работы, являются необходимой частью освоения курсов «Методы и средства измерений и контроля», «Акустический контроль», «Методы и средства контроля качества».

# 1. Дефектоскоп PCUS-10

---

## 1.1. Технические характеристики

---

**П**лата устанавливается как устройство в персональный компьютер. В состав платы входит аналоговая часть УЗД, то есть генератор зондирующих импульсов и приемное устройство. Кроме того, она содержит аналого-цифровой преобразователь, сигнальный процессор, блок памяти и другие устройства.

Характеристики системы PCUS-10:

- интервал частот — 0,5...20 МГц, причем могут быть использованы как широкая полоса, так и три полосовых фильтра;
- генератор зондирующих импульсов с двумя значениями амплитуды обеспечивает время нарастания импульса менее 20 нс;
- коэффициент усиления изменяется от –20 до 90 дБ с шагом 0,1 дБ;
- встроенная система ВРЧ с настройкой по 256 точкам имеет диапазон 40 дБ;
- диапазон контроля стали до 2,45 м.

Аналогово-цифровое преобразование ведется с частотой 80 МГц. В системе предусмотрена возможность усреднения изображения развертки по 2, 4, 8, 16, 32 периодам. Рабочий экран системы PCUS-10 показан на рис. 1.1.

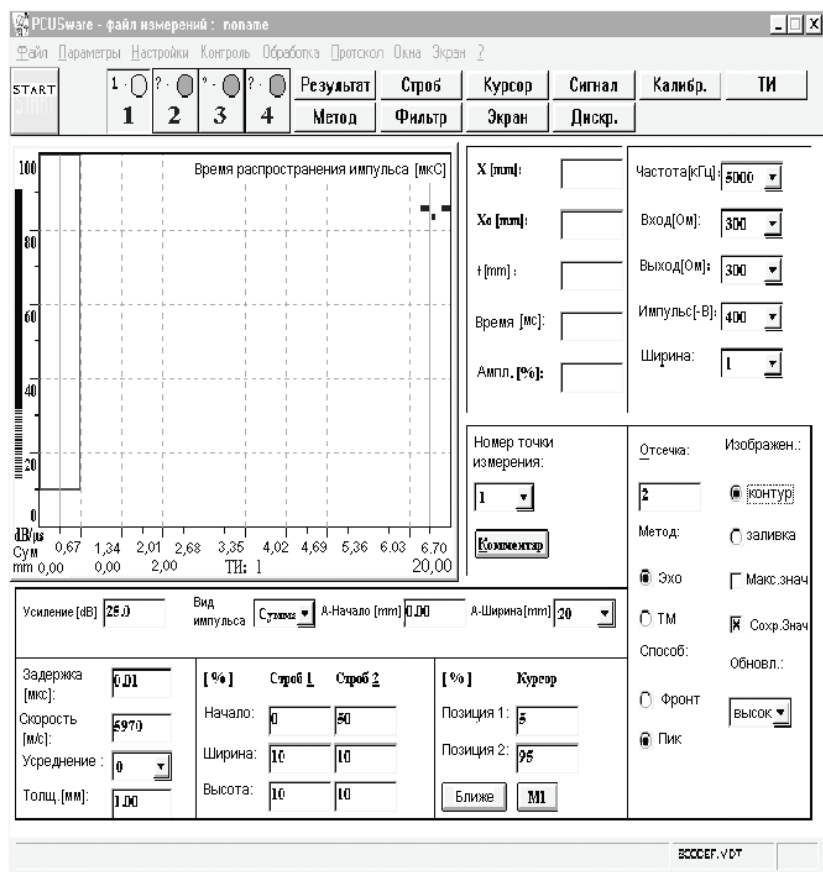


Рис. 1.1. Рабочий экран программы

Частота повторения — от 4 Гц до 4 КГц, причем используется как внутренний, так и внешний запуск. Пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) подключается снаружи через разъем типа Lemo.



## 1.2. Интерфейс управления

Для работы с программой необходимо запустить файл PCUSWARE.EXE в установленном подкаталоге или ярлык PCUSWARE на рабочем столе.

После запуска файла вы увидите рабочее окно программы (рис. 1.1).

В верхней части рабочего окна располагается меню программы. Меню содержит следующие пункты: Файл, Параметры, Настройки, Контроль, Отчеты, Окно, Экран.

### 1.2.1. Пункт меню «ФАЙЛ»

В этом меню находятся команды управления файлами измерений. (Исключение — печатные функции).

В частности:

- команда для создания нового файла измерений — *Создать новый (пустой) файл измерений*;
- команда для открытия файла измерений — *Открыть существующий файл измерений*;
- команды для сохранения файлов измерений — *Сохранить* и *Сохранить как*;
- команда для задания каталога хранения данных — *Структура каталога*;
- команды для приема, передачи и копирования данных — *Импортировать*; *Экспортировать*;
- команды управления печатью — *выбрать Печатный шаблон протокола*; *Предварительный просмотр протокола*; *Настройка принтера, выбор и конфигурация принтера*; *Печатать протокола*.

С помощью команды **СОЗДАТЬ** создается новый пустой файл измерений. Ему присваивается имя «Без имени». Если ранее уже был открыт файл измерений, то он закрывается. Если в это время предприняты изменения, то появляется запрос о сохранении файла.

Для настройки и проведения измерений должен быть открыт файл измерений. Командой **ОТКРЫТЬ** выбирается файл измерений, записанный ранее.

Может быть открыт только один файл измерений.

Для открытия другого файла измерений необходимо закрыть активный файл. Если в это время проведены изменения, то появится запрос о сохранении файла.

PCUSware3 поддерживает загрузку файлов измерений любых версий PCUSware-1.XX. Более старые форматы файла распознаются автоматически и импортируются. Сохранение возможно только в PCUSware3-формате.

Все файлы измерений могут сохраняться на жестком диске или дискете в специальном формате. Вместе с тем они доступны для сохранения более поздних измерений. Команда **СОХРАНИТЬ** записывает активный файл измерений на жесткий диск.

### **ВНИМАНИЕ:**

*Если открывались более старые PCUSware1 или PCUSware2-файлы измерений, они преобразовываются при сохранении в PCUSware3-формат. PCUSware1 и PCUSware2 не смогут прочитать этот формат файла!*

Результаты измерений открытого файла PCUSware3 хранит в оперативной памяти. Рекомендуется при измерениях периодически использовать команду **СОХРАНИТЬ**, чтобы записать файл измерений на жесткий диск. Иначе (например, при нарушении электропитания) измерения, осуществленные после операции сохранения, будут потеряны!

Команда **СОХРАНИТЬ КАК** используется, чтобы присвоить имя и сохранить новый файл «Без имени» или изменить каталог, имя или дисковод. При этом должен выбираться новый полный путь.

Команда **СТРУКТУРА КАТАЛОГА** может задавать каталог из перечня. Каталоги используются PCUSware3 для сохранения созданных файлов.

**ФАЙЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ:** Путь для файлов измерений (\*.usm).

**ФАЙЛЫ РАБОЧЕГО СТОЛА:** Путь для данных рабочего стола (\*.mdt) и печатных шаблонов (\*.ptm).

**ВРЕМЕННЫЕ ФАЙЛЫ:** Путь для служебных файлов PCUSware3.

Импортирование данных ПЭП может осуществляться с использованием команд **ИМПОРТИРОВАТЬ**, **ЭКСПОРТИРОВАТЬ**.

База данных ПЭП может импортироваться дискетой. При этом необходимо выбрать — заменять имеющуюся базу данных ПЭП или добавить импортируемую базу данных к существующей.

**Импортирование** файла измерений: файлы измерений могут импортироваться в PCUSware — каталог данных. При вызове этой команды показываются (при необходимости) модули импорта.

**Экспорт** данных ПЭП на дискету: база данных ПЭП может экспортироваться на дискету и переноситься посредством импорта на другую PCUSware-систему.

**Чужие форматы** данных: имеющиеся в распоряжении экспортные модули показываются в списке выбора, включая короткое описание. В пределах меню «Обработать», «Опции», «Расширенный» устанавливается, должны ли предлагаться экспортные модули только стандартного языка или все для выбора.

**Оригинальный формат** данных на дискету: оригинальные PCUSware-файлы измерений могут сохраняться на дискете и переноситься посредством импорта на другие PCUSware-системы.

## Команда **ПЕЧАТНЫЙ ШАБЛОН**

Для того чтобы получить протокол измерений, должен быть загружен печатный шаблон. Печатные шаблоны содержат сведения о форме для печатного протокола и заполняются по запросам.

PCUSware3 содержит интегрированный редактор печатных шаблонов, который загружается при выборе этого пункта меню. Независимо от того, загружен печатный шаблон или нет, показывается форма актуальных установок. Если ни один из печатных шаблонов не загружен, показывается пустой лист.

Может загружаться существующий печатный шаблон и записываться экранная форма под новым именем.

Изображение шаблона может увеличиваться посредством кнопки **УВЕЛИЧИТЬ** и уменьшаться кнопкой **УМЕНЬШИТЬ** снова к нормальному виду.

В пределах списка может выбираться язык. Выбранный язык используется исключительно для того, чтобы показывать параметры в печатном представлении шаблона на этом языке. Печатные шаблоны зависят от запроса, т. е. можно печатать одни и те же печатные шаблоны на различных языках.

Редактор печатных шаблонов подразделяет изображение на логические строки и столбцы. Задание позиций символов не зависит от формата бумаги и выравнивания стороны при печати. Если выравнивается, к примеру, А-развертка по всей странице, при выборе принтера будет задана установка на печать А-развертки в поперечном (альбомном) формате.

Для редактирования или составления нового печатного шаблона используются различные инструменты, которые могут выбираться в свободно позиционируемых диалоговых окнах (**ИНСТРУМЕНТЫ**) посредством мыши:

- (1) стрелка: возможен выбор любого уже существующего элемента шаблона. Выбор элемента осуществляется нажатием левой клавиши мыши, при этом указатель мыши должен находиться в левом верхнем углу элемента. При

нажатой левой клавише мыши можно передвигать этот элемент на другую позицию;

- (2) параметр: могут позиционироваться любые имеющиеся в распоряжении параметры с различными единицами измерения. При щелчке мышью на элементе раскрывается диалоговое окно со списком всех имеющихся в распоряжении параметров, причем выбранный для этой позиции в настоящее время параметр отсортирован. Можно выбирать любой параметр из списка. При нажатии клавиши [ОК] принимается этот выбор, клавишей [ОТМЕНА] сохраняется первоначальное состояние, и диалоговое окно закрывается. Наряду со списком для выбора параметра, имеется поле для метки [X] при наименовании. Если пометить параметр, то имя параметра печатается в протоколе. Если деактивировать эту метку, то при печати выводится только значение параметра. Последняя из двух функций разрешает открытие печатного шаблона, в котором можно печатать заготовленный протокол контроля;
- (3) Logo: специальная кнопка вставки логотипа;
- (4) глобальный комментарий (GLOBAL): устанавливается область для введения общего для данных контроля глобального комментария. Эта область представляется как прямоугольник. Так как максимальная длина этого комментария может быть 255 знаков, нужно избегать подведения других элементов в позицию этого прямоугольника. Глобальный комментарий должен позиционироваться по возможности от левого края;
- (5) локальный комментарий (LOCAL): устанавливается область локального комментария для выбранного блока данных измерений. Эта область представляется как прямоугольник. Так как максимальная длина этого комментария может быть 255 знаков, нужно избегать подведения других элементов в позицию этого прямоугольника. Ло-

кальный комментарий должен позиционироваться по возможности от левого края;

- (6) развертка: А-развертка может позиционироваться в любое место. А-развертка представляется прямоугольником со шкалой. Этот прямоугольник может изменяться щелчком левой клавиши мыши на правом нижнем углу прямоугольника развертки и передвижением мыши при нажатой клавише;
- (7) разделитель: для оформления вводится поперечная черта. Может использоваться до 10 сепараторов;
- (8) преобразователь (ПЭП): может позиционироваться область для данных используемого ПЭП. Эти данные включают имя ПЭП, номер серии, наименование производителя, тип, угол и стрелу. Расположение этих шести параметров по отношению друг к другу не изменяется. Область для этих данных представляется прямоугольником. Этот прямоугольник должен выравниваться по левому краю;
- (9) удаление (Del): при помощи этого инструмента могут удаляться уже размещенные элементы;
- (10) рамка: изображается рамка протокола. Величина рамки точно соответствует длине разделителей (7). Рамка не передвигается.

### **ВНИМАНИЕ:**

*С PCUSware3 совместно поставляются печатные шаблоны, которые дают хорошее представление для создания собственных новых шаблонов. Открытие печатного шаблона должно происходить по возможности при разрешении монитора 1024×768 или выше!*

В команде **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПРОСМОТР** показывается протокольное изображение блока данных измерения. Оно содержит листинг всех параметров и графическое изображение (А-развертки).

Для того чтобы напечатать протокол измерений, необходимо сконфигурировать принтер с помощью команды **НАСТРОЙКА ПРИНТЕРА** из меню **ФАЙЛ**. Для этого используется программа конфигурации.

Можно выделить любой установленный под Windows принтер для PCUSware3. Установка стандартного принтера Windows при выборе не изменяется.

После вызова команды **ПЕЧАТЬ** выбранный блок данных (красное поле в окне обзора точек измерения) в форме протокола будет распечатан на выбранном принтере (см. выше **НАСТРОЙКА ПРИНТЕРА**).

Прежде чем начнется распечатка, должен быть загружен печатный шаблон. При программном старте последний использованный печатный шаблон загружается автоматически.

**ВЫХОД** закрывает программу PCUSware. Открытый файл измерений заранее закрывается и сохраняется.

### **ВНИМАНИЕ:**

*Окончание программы во время текущего измерения невозможно.*

## **1.2.2. Пункт меню «ПАРАМЕТРЫ»**

Команда **КОПИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ** копирует установленные на момент измерения параметры в буфер обмена. Эти параметры из буфера обмена могут использоваться с помощью команды **ВСТАВКА ПАРАМЕТРОВ** в других измерениях.

Команда **ВСТАВКА ПАРАМЕТРОВ** записывает параметры (скопированные командой **КОПИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ** в буфер обмена) в поля актуального измерения.

Вставка параметров возможна только для пустой точки измерений! Параметры могут использоваться логическими каналами, которые связаны с различными УЗ-картами. Необходимо

обращать внимание на то, что копируемые параметры, например «Задержка ПЭП», зависят от выбора ПЭП!

Команда **ОТОБРАЖЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ** предоставляет компактный обзор установленных для текущего измерения параметров. Если речь идет о записанной точке измерений, показываются использованные при измерении параметры. Если речь идет о пустой точке измерений, показываются текущие установленные параметры.

Команда **ПРОСМОТР БАЗЫ ДАННЫХ** показывает компактный обзор базы данных.

Показываются только те параметры, которыми оперируют команды **КОПИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ** и **ВСТАВКА ПАРАМЕТРОВ**. Копируемые параметры могут использоваться логическими каналами, которые связаны с разными УЗ-картами. Необходимо помнить, что копируемые параметры (например, «Задержка ПЭП») зависят от выбора ПЭП!

Команда **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА** выполняет дополнительную обработку записанной точки измерений.

В режиме дополнительной обработки можно изменять следующие параметры:

- параметры строб-импульсов;
- способ выпрямления;
- отсечка шумов;
- метод измерения (REM, MEM);
- способ измерения (по пику, по фронту).

Результаты измерений автоматически пересчитываются (путь эхо-сигнала, координата X...) и показываются по-новому.

Режим **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА** выключается командой **ОКОНЧАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ**. При этом появляется запрос, должны ли сохраняться предпринятые изменения для точки измерений. Если это подтверждается, данные сохраняются. Иначе будет восстановлено первоначальное состояние точки измерений.



Для того чтобы зафиксировать изменения в PCUSware-файле, нужно сохранить его повторно!

Команда **СОХРАНИТЬ ЭТАЛОННУЮ КРИВУЮ F8**. При выборе этого пункта меню (или клавиши F8) сохраняется текущая линия развертки в окне сканирования, так называемая эталонная кривая, и показывается другим цветом.

Повторный выбор этого пункта меню (и соответственно F8) озаглавливает заранее записанную эталонную кривую.

Выделение цветом эталонной кривой задается пунктом меню **ЭТАЛОННАЯ КРИВАЯ ВКЛ./ВЫКЛ.**

Эталонная кривая является чисто графическим элементом и не влияет на способ измерения, способ выпрямления и т. д.

Записанную при помощи команды **СОХРАНИТЬ ЭТАЛОННУЮ КРИВУЮ F8** эталонную кривую можно включать и выключать командой **ЭТАЛОННАЯ КРИВАЯ ВКЛ./ВЫКЛ.**

Этот пункт меню может быть выбран только тогда, когда эталонная кривая сохранена.

### 1.2.3. Пункт меню «НАСТРОЙКИ»

В этот пункт меню занесены все функции планирования, калибровки и глобальной конфигурации устройства. Это касается как планирования открытого файла измерений (ПЭП, контактная среда, синхронизация и т. д.), так и назначения физических и логических каналов, опций, а также АСД- и ВРЧ-функций.

#### Команда **КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ**

Под коммутацией каналов в меню **НАСТРОЙКИ** понимают соединение логических каналов с PCUS-платами.

При старте PCUSware3 тестирует, установлены ли и сколько ультразвуковых плат в компьютере. Эта информация выводится в уведомлении в левой половине диалогового окна.

Узнанные PCUS-платы указываются в дальнейшем как физические каналы.

PCUSware3 располагает 4 логическими каналами. Можно одновременно задавать 4 значения каждого параметра.

В пункте **КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ** связываются PCUS-платы с логическими каналами. Каждый логический канал может связываться только с одной PCUS-платой. Возможно, тем не менее, связывать несколько логических каналов с одной и той же PCUS-платой. В этом случае возникают основной (зеленый индикатор) логический канал и один или несколько вторичных (желтый индикатор) логических каналов.

Соединение логических каналов производится щелчком мыши в окне соответствующей платы или выбором из списка. При этом неоднократное соединение логических каналов преродотвращается автоматически.

Можно также полностью блокировать плату (активное окно) и каждой PCUS-плате присваивать имя.

### Команда **ДАННЫЕ ПЭП**

Для каждой PCUS-платы имеется специальная конфигурация и данные калибровки, в том числе:

- присоединенный ПЭП;
- акустическая задержка;
- угол ввода;
- стрела.

Каждый ПЭП описывается серийным номером, названием, производителем, акустической задержкой, углом и стрелой. Имеющиеся в распоряжении ПЭП показываються в списке. При выборе записи из списка устанавливаются выбранные параметры.

Все параметры ПЭП, производителя и т. д. находятся в базе данных параметров ПЭП. ПЭП представляется при этом однозначным буквенно-численным серийным номером. Базы данных ПЭП могут импортироваться и соответственно экспортироваться на другие PCUSware-системы.

Посредством команд «Вставить», «Удалить», «Изменить» могут быть введены, удалены, изменены параметры нового ПЭП. При этом автоматически активизируется база данных ПЭП. Ввод измененных данных (например, для производителя) может осуществляться выбором из списка или вводом новой записи.

В пределах этого пункта меню для каждого логического канала могут планироваться дополнительные данные, такие как контактная среда, метод измерения, синхронизация и технология контроля.

Технология контроля задает эхо-импульсный или теневой метод. По умолчанию используется эхо-импульсный. При теневом методе контролируют двумя ПЭП одинакового типа, причем один ПЭП работает как передатчик, а другой ПЭП как приемник. Чтобы PCUS1X-плата установила два отдельных канала излучения и приема, должен выбираться тип ПЭП «Излучатель — приемник».

Из возможности связи нескольких логических каналов с одной и той же PCUS-платой следуют следующие выводы:

- все параметры, кроме синхронизации (внутр./внешн.), планируются только в основном канале и устанавливаются автоматически для вторичных каналов одной и той же платы;
- вторичные каналы можно планировать только в том случае, если ранее спланирован основной канал, принадлежащий этой плате;
- изменения в пункте **КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ** могут привести к повторению процедуры планирования.

### **ВНИМАНИЕ:**

*Акустическая задержка ПЭП уточняется при необходимости после калибровки. Желаемая модернизация должна производиться в пределах базы данных ПЭП с помощью команды «Изменить». После этого не следует применять калибровку.*

Все запланированные значения записываются вместе с измеренным блоком данных.

### Команда **КАЛИБРОВКА**

Калибровка подразделяется:

- на автоматическую;
- ручную (только для наклонных ПЭП).

Калибровка возможна только при запланированном логическом канале (символ Р в клавише выбора канала), основном логическом канале (зеленый индикатор в клавише выбора канала) и пустом блоке данных.

В зависимости от используемого ПЭП (совмещенный/РС, нормальный/наклонный) предлагаются различные диалоговые окна. В них будут даны соответствующие функции и поля. Кроме того, потребуются стандартные образцы (ступенчатый, К1, К2 ...).

Автоматическая калибровка проводится в несколько шагов. Во время этих шагов в верхней области окна сканирования располагается окно калибровки. В нем появляются указания для следующего шага калибровки (например: строб 1 ставят на первый эхо-сигнал и т. д.). Переход к следующему шагу осуществляется клавишей F9.

Отмена режима калибровки осуществляется клавишей Esc в любое время.

### **ВНИМАНИЕ:**

*При калибровке происходит расчет акустической задержки ПЭП и т. п. После окончания калибровки рассчитанная акустическая задержка ПЭП вносится как текущее значение, однако не присваивается автоматически выбранному ПЭП! Изменение необходимо внести в окно Данные ПЭП командой «Изменить»!*

### Команда **КОЛИЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ НА А-РАЗВЕРТКЕ**

Можно устанавливать глубину записи для каждого логического канала отдельно. Выбор количества записанных значений возможен в области 256–1024 значений.

При выборе опции «В соответствии с величиной экрана» автоматически устанавливаются, в зависимости от принятого размера окна сканирования, значения от 400 до 1200 байт.

При выборе большой глубины записи аппаратурой производится сжатие данных. Гарантировано, что отображается вся область контроля в пределах записанных значений. Первое записанное значение соответствует первому значению в пределах установленного диапазона развертки. Остальные значения в пределах записанных данных распространяются на область контроля, рассчитываются автоматически PCUSware3 и соответственно отображаются.

### Команда **ОПЦИИ**

С помощью диалогового окна в этом пункте меню можно ставить глобальные программные выключатели:

- [X] сохранить установки при завершении работы
  - текущие установки (использованный рабочий стол, установка опций ...) записываются при выходе из программы. Кроме того, автоматически открывается последний файл измерений и загружается последний печатный шаблон;
- [X] автоматическое распознавание PCUS-10
  - автоматическое определение PCUS-10 выполняется последовательно. Отключение этой опции предоставляет вспомогательные возможности с целью диагностики при конфликтах доступа в IO-адресное пространство персонального компьютера;
- [X] соединение логических каналов из считанного файла измерений
  - если файл измерений считан, будет восстановлено такое соединение логических каналов, какое было при измерении. Естественно при условии, что соответствующие PCUSIX-платы находятся в системе;
- [X] принять диапазон развертки из считанного файла измерений

- если считывается файл измерений, устанавливается заданный в файле измерений диапазон развертки индивидуально для каждого логического канала;
- [X] увеличивать номер точки измерения после каждого сохранения
  - после каждого сохранения номер точки измерения будет автоматически увеличиваться на единицу;
- [X] предупреждение при записи поверх измеренной точки измерений
  - при запуске измерения появляется предупреждение, если выбранные точки измерения уже содержат результаты измерений;
- [X] выключение напряжения после каждого измерения (для батареек)
  - после каждого измерения выключается напряжение питания PCUS1X-плат. Этот режим работы рационален только при наличии батареи в Laptop для увеличения времени автономной работы. Однако нужно обращать внимание на то, что PCUS1X-плата должна достигнуть соответствующей рабочей температуры, поэтому этот режим работы должен использоваться только в исключительных случаях;
- [X] подгонка начала и ширины строб-импульса
  - происходит автоматическая подгонка начала и ширины строба и представление в окне сканирования параметров строба в X [мм]. В противном случае строб будет устанавливаться в процентах;
- [X] представление времени в [мкс] вместо пути в [мм]
  - область контроля представляется в окне сканирования в [мкс] вместо [мм]. Одновременно показывается в окне результата вместо пути эхо-сигнала в [мм] время в [мкс]. Дополнение...
- [X] только стандартный язык (экспорт)
  - при выборе этой опции предлагаются в пределах диалога только экспортные модули в установленном языке. Ина-

че для всех экспортных модулей появляется сообщение о языке;

- [X] измерение длины в [дюйм] вместо [мм]
  - при выборе этой опции показываются все данные длины в окне сканирования и результаты в блоках функций в [дюйм] вместо [мм].

## Команда АСД ДЛЯ ВЫБРАННОГО КАНАЛА

### 1. АСД ДЛЯ ВЫБРАННОГО КАНАЛА | Редактирование...

Этот пункт меню открывает диалоговое окно АСД. В таблице показываются опорные точки АСД-кривой текущего канала. В окне сканирования представляется АСД-кривая, включая пунктирную кривую, отличающуюся от АСД- на 6 дБ.

Таблица может редактироваться посредством клавиш [Редактировать], [Добавить], [Удалить], [Удалить список]. Клавишами [Импорт], [Экспорт] можно уже существующие АСД-файлы загружать и сохранять.

Клавиша [Сохранить как ВРЧ] разрешает сохранение АСД-кривой как ВРЧ-кривой. При этом происходят нормирование наименьшего уровня АСД на 0 дБ и соответствующий пересчет других опорных точек.

Клавиша [Графический режим «Вкл./Выкл»] показывает в окне сканирования доступную для редактирования АСД-кривую или удаляет ее.

Клавиша [Комментарий] может показывать комментарий к АСД-файлу для просмотра или редактирования. Сохранение АСД-комментария происходит командой [ОК] в АСД-файле.

Клавиши дБ-сдвига [<<] [<] [>] [>>] могут сдвигать АСД-кривую с шагом 1 дБ или 0.1 дБ вниз или вверх. Новая позиция АСД-кривой принимается клавишей [Сохранить].

### 2. АСД ДЛЯ ВЫБРАННОГО КАНАЛА | Редактирование кривой

Этот пункт меню включает и выключает режим редактирования АСД-кривой в окне сканирования.

В режиме редактирования АСД-кривой курсор в окне сканирования имеет вид перекрестия. Кроме того, в этом режиме невозможно изменение настроек канала.

В режиме редактирования АСД-кривой посредством мыши выполняются следующие действия в окне сканирования:

- нажатие левой клавиши мыши: создание новой опорной точки;
- нажатие правой клавиши мыши на существующей опорной точке: удаление этой опорной точки;
- нажатие левой клавиши мыши на существующей опорной точке и передвижение мыши при нажатой левой клавише: сдвиг опорной точки.

### **3. АСД ДЛЯ ВЫБРАННОГО КАНАЛА** *показать АСД-кривую*

В этом пункте меню АСД-кривая может быть выведена на экран. При включении режима редактирования кривой происходит автоматическое переключение в режим показа АСД-кривой.

## **Команда ВРЧ ДЛЯ ВЫБРАННОГО БЛОКА ДАННЫХ**

### **1. ВРЧ ДЛЯ ВЫБРАННОГО БЛОКА ДАННЫХ — Редактирование**

Этот пункт меню вызывает диалоговое окно ВРЧ. Показывается таблица опорных точек ВРЧ-кривой текущей точки измерения соответствующего канала. В окне сканирования представляется ВРЧ-кривая. ВРЧ-кривая показывает уменьшение амплитуды, которое начинается в основном при 0 дБ.

Первая по времени опорная точка ВРЧ-кривой имеет всегда значение 0 дБ. Другие опорные точки могут иметь любое значение между 0 и 40 дБ.

Таблица редактируется клавишами [Редактировать], [Добавить], [Удалить], [Удалить список].

Клавишами [Импорт], [Экспорт] имеющиеся ВРЧ-файлы загружаются и сохраняются.



Клавиша [Авторасчет] разрешает автоматическое создание ВРЧ-кривой. Для этого должны быть загружены измерения по меньшей мере двух эхо-сигналов. Функция «Авторасчет» использует в зависимости от изображения измерения положительную или отрицательную половину волны. При двухполупериодном выпрямлении или высокочастотном (недетектированном) изображении вариантов выбора половинной волны нет, так как это устанавливается автоматически.

Метка [X] Аппаратная ВРЧ может выбираться в том случае, если текущий канал связан с PCUS-11-платой. Если выбирается эта опция, то вместо программной ВРЧ используется интегрированная аппаратная ВРЧ PCUS-11. При аппаратной ВРЧ весь сигнал усиливается в аппаратуре соответственно ВРЧ-кривой. При программной ВРЧ происходит только подъем амплитуд сигналов при установленной отсечке шумов.

ВРЧ-кривая может создаваться и редактироваться также при помощи мыши в окне сканирования. Для этого нужно включить режим редактирования ВРЧ-кривой (см. следующий пункт меню).

ВРЧ-кривая может создаваться также по АСД-кривой (диалоговое окно АСД). Это является преимуществом в том случае, если нельзя использовать функцию «Авторасчет». В режиме редактирования АСД-кривой можно располагать первую по времени опорную точку на любом уровне экрана. При сохранении АСД-кривой как ВРЧ-кривой происходит пересчет на 0 дБ.

Клавишей [Комментарий] можно показать и отредактировать комментарий к ВРЧ-файлу. Сохранение ВРЧ-комментария происходит в ВРЧ-файле при выполнении команды [OK].

## **2. ВРЧ ДЛЯ ВЫБРАННОГО БЛОКА ДАННЫХ | Редактирование кривой**

Этот пункт меню включает и выключает режим графического редактирования ВРЧ-кривой в окне сканирования.

В режиме *Редактирование кривой* курсор в окне сканирования имеет вид перекрестия. Кроме того, невозможно изменение параметров канала, а также точки измерений.

В режиме редактирования ВРЧ-кривой возможны следующие функции мыши в окне сканирования:

- нажатие левой клавиши мыши: создание новой опорной точки ВРЧ. При этом уровень усиления новой опорной точки, если ее время задержки меньше, чем у первой (уже существующей) опорной точки, будет автоматически меньше на 100 %, т. е. 0 дБ;
- нажатие правой клавиши мыши на опорной точке: удаление этой опорной точки;
- нажатие левой клавиши на опорной точке и передвижение мыши при нажатой клавише: сдвиг опорной точки.

### Команда **ЗВУКОВОЙ СИГНАЛ**

Звуковой сигнал на события в стробе, вне строба, а также превышение АСД-кривой, ниже АСД-кривой устанавливается по выбору.

Для каждого типа звукового сигнала может выбираться встроенный динамик или любой звуковой файл. Звуковые опции доступны только при установленной звуковой плате или установленном PC-Speaker драйвере.

Клавишей [Тест] может быть озвучен выбранный звук, а также проверен установленный уровень громкости.

При инсталляции PCUSware3 устанавливаются примеры звуковых сигналов. Идеальным для звукового сигнала должно быть время звучания около 0,5 с.

#### 1.2.4. Пункт меню «**КОНТРОЛЬ**»

С помощью команд, находящихся в пункте меню **КОНТРОЛЬ**, имеется возможность управлять приемом данных от ультразвуковой платы.

С помощью клавиши [СТАРТ/СТОП] начинаются измерения.

Командой **ВЫБОР КАНАЛА** может выбираться логический канал.

### 1.2.5. Пункт меню «ОТЧЕТЫ»

#### Команда АНАЛИЗ

В пределах окна **АНАЛИЗ** могут рассматриваться измеренные ранее осциллограммы сигналов. Возможно изображение до 6 окон сканирования. Расположение и величина отдельного окна сканирования может изменяться (Операции с окнами). Выбор представляемого окна сканирования происходит посредством мыши или клавиатуры из списка. Клавишей [Развернуть] (ALT+A) представляются на экране отдельные окна соответственно номеру из списка.

Закрыть окна **АНАЛИЗ** можно клавишей [Назад] (ALT+Z).

Переход между отдельными окнами оценки производится клавишей F2 или просто щелчком мыши. Возврат к основному меню производится клавишей F3.

В каждом окне оценки располагается собственное меню, в котором могут выбираться различные моды представления сигнала. При этом может изменяться, к примеру, способ выпрямления и выключаться отсечка шумов.

### 1.2.6. Пункт меню «ОКНО»

С помощью функций пункта меню **ОКНО** можно управлять самыми различными окнами.

#### Команда ГРУППЫ ФУНКЦИЙ

Для изображения регулируемых параметров измерений имеется всего 9 групп функций.

Они могут представляться постоянно или по выбору на экране.

При этом различаются несколько категорий влияния.

**I. Группы функций с параметрами, имеющими наибольшее влияние на А-развертку и результаты измерений:** эти установки долж-

ны выполняться с самой большой тщательностью, так как они непосредственно связаны с процессом измерения.

К таким установкам относятся калибровка, фильтр, А-параметры, дискретизация.

### 1. Калибровка

В этой группе функций регулируются различные параметры:

- акустическая задержка — это аппаратное время задержки старта запускающего импульса (SAP) относительно зондирующего сигнала, обусловленное задержкой в ПЭП. Диапазон изменения: (0,01...100,00) мкс с шагом 12,5 нс. Для точного измерения толщины стенки теневым методом должна быть точно известна акустическая задержка. Поэтому используйте команду «Калибровка»;
- скорость звука может устанавливаться в области между (300...15000) м/с с шагом 1 м/с. Скорость звука должна быть измерена как можно точнее по толщине стенки, поэтому используйте команду **КАЛИБРОВКА**;
- усреднение: PCUSware3 предлагает возможность получения среднего значения. При измерении с PCUS-10-платой может быть максимально программно усреднено до 32 А-разверток. При применении PCUS-11-платы максимально возможное усреднение — до 128. Усреднение проводится при этом в PCUS-11 аппаратно;
- толщина: при применении наклонных ПЭП нужно вносить в это поле толщину исследуемого объекта. Только при правильно введенной толщине можно определять глубину и расстояние проекции при использовании наклонных ПЭП!

### 2. Фильтр

Параметры этой группы функций регулируют установки на PCUS-10-плате.

На PCUS-10-плате находятся 1 широкополосный и 3 узкополосных (полоса пропускания) фильтра со следующими полосами частот, МГц: 0,5...20; 2...1,3; 5...3,3; 7,5...12,5.

Для выбора показываются соответственно средние частоты фильтров. Соответствующий фильтр должен выбираться из списка.

В PCUS-10 амплитуду импульса можно переключать в диапазоне (200...400 В) выходного напряжения при присоединенном ПЭП. При использовании PCUS-11-платы читаются и предлагаются возможности настоящей платы из набора данных конфигурации PCUS-11.

Ширина (длительность) импульса регулируется только в PCUS-11-плате. Возможности настоящей платы читаются из набора данных конфигурации PCUS-11 и предлагаются.

Выбор согласования ПЭП (входное, выходное) служит для оптимизации формы импульса. Входное сопротивление может быть в PCUS-10 в диапазоне (50...300) Ом. При этом несущественно, принимающий или излучающий ПЭП выбирается, так как в PCUS-10-плате это не различается. В PCUS-11-плате считываются возможности настоящей платы из набора данных конфигурации PCUS-11 и предлагаются отдельно для входа и выхода. В PCUS-11 сопротивления принимающего или излучающего ПЭП могут устанавливаться отдельно.

### **3. А-параметры**

Усиление может выбираться в области (0...100) дБ (PCUS-10) и соответственно 110 дБ (PCUS-11). Минимальный шаг установки усиления составляет при этом 0,1 дБ. Усиление изменяют клавиатурой (клавишами управления курсором и соответственно [PAGEUP/PAGEDOWN]-клавишами или непосредственно набирая значение). Выбранная в настоящий момент установка усиления показывается, кроме того, в форме полосы в окне сканирования. Щелчком мыши на этой полосе значение усиления увеличивается (левой клавишей мыши) и соответственно уменьшается (правой клавишей мыши). При дополнительном нажатии клавиши [SHIFT] происходит изменение значения с большим шагом.

Начало А-развертки и область контроля (ширина А-развертки) устанавливаются в соответствующих окнах. Максимально возможные значения начала и ширины развертки зависят от скорости звука и установленной зоны контроля. Изменение значения производится клавиатурой (увеличение/уменьшение клавишами управления курсором и клавишами [PAGEUP/PAGEDOWN] или непосредственно вводя значение). Щелчком мыши на значении «Начало А-развертки» в окне сканирования его можно увеличить (левой клавишей мыши) или уменьшить (правой клавишей мыши). При дополнительном нажатии клавиши [SHIFT] происходит изменение значения с большим шагом.

Ширина А-развертки является абсциссой окна сканирования. Она изменяется ступенчато. Щелчком мыши на значении ширины А-развертки (в правом углу окна сканирования) это значение может быть увеличено (левой клавишей мыши) или уменьшено (правой клавишей мыши).

Функция «Выпрямление» имеет следующие значения: Суммарный (Сум.), Положительный (Пол.), Отрицательный (Отр.) и Высокочастотный (ВЧ). Установленный способ выпрямления показывается, кроме того, в левом нижнем углу окна сканирования. Щелчок мышью на этой надписи левой или правой клавишей мыши может переключать способ выпрямления.

Интегрированные функции мыши в пределах окна сканирования позволяют, таким образом, манипулировать всеми функциями этой группы.

#### **4. Дискретизация**

Установки в пределах этой группы функций доступны только при использовании PCUS-11-платы.

При использовании PCUS-11 может задаваться частота преобразования АЦП из следующих значений, МГц: 10, 20, 40, 80, 60.

PCUS-10 имеет фиксированную частоту 80 МГц.

Разрядность данных: в настоящее время используется в основном только 8-битная разрядность.

Переключатель разрядности предусмотрен для усовершенствований, так как PCUS-11 может работать также с 10-битными данными.

Поставив маркер в соответствующем окне, можно установить частоту следования импульсов (IFF) для PCUS-11. IFF регулируется при этом в интервале 20 Гц...4 кГц. Следует обратить внимание на то, что при очень низкой IFF нужно ожидать реакции относительно долгое время, прежде чем А-развертка активизируется. Усугубляется это обстоятельство при установке усреднения. В PCUS-10 IFF не регулируется.

В пределах этой группы функций может включаться временная регулировка чувствительности (ВРЧ) для выбранного блока данных и обрабатываться:

- [X] ВРЧ — включает ВРЧ;
- [ВРЧ — редактирование] — разрешает задание и модификацию ВРЧ-кривой.

**II. Параметры, оптимизирующие изображение:** с помощью этих параметров изменяется форма осциллограммы и находится оптимум. Эти величины не изменяют результат измерений.

### **Группа функций «Метод»**

В этой группе функций регулируются различные параметры, которые влияют как на А-развертку, так и на способ определения результатов измерений.

Различают:

- эхо-метод (Эхо): измерение производится между зондирующим импульсом и первым эхо-сигналом.

### **ВНИМАНИЕ:**

*Акустическая задержка и скорость звука влияют на результат измерения. (См. также КАЛИБРОВКА). Это отражается в данном случае только на мониторе.*

- теневой метод — (ТМ): используется время между двумя следующими друг за другом эхо-сигналами. Кроме того, на экране появляются два строб-импульса. При этом для правильного измерения необходимо точное знание скорости звука в материале. Используйте для гарантии точности возможность калибровки;
- измерение по фронту (Фронт) — измерение по фронту первого эхо-сигнала в пределах строба;
- измерение по пику (Пик) — измерение до максимума эхо-сигнала в пределах строба;
- отсечка шумов регулируется в диапазоне 0...80 % с шагом 1 %. Высокое усиление, в частности при большой глубине прозвучивания, часто приводит к повышенному шуму. Чтобы мешающую «траву» отфильтровать, можно изменить отсечку шумов. Тогда на А-развертке показываются только те сигналы, которые превосходят установленный уровень в процентах.

**III. Параметры, которые оптимизируют изображение А-развертки.** Изменением следующих параметров можно выбрать важный участок кривой, выделить его и увеличить.

#### **1. Функциональная группа «Строб»**

В зависимости от метода контроля используется один (ЭХО) или два строба (ТМ).

Строб 2 находится всегда справа от строба 1. Стробы не могут перекрывать друг друга. С помощью стробов устанавливаются соответствующие диапазоны для измерения толщин стенки. Для двух стробов могут изменяться начало отсчета, ширина и порог. Регулировка стробов может проводиться также во время измерения. Параметры строба измеряются в процентах. Изменения параметров производятся клавиатурой (увеличивают/уменьшают клавишами управления, курсором и PAGEUP/PAGEDOWN или явным вводом значения) или непосредственно в окне сканирования мышью.



Абсолютные значения позиций стробов в [мм] показываются в окне сканирования.

## **2. Функциональная группа «Курсор/Увеличение»**

Курсор — это всегда видимые две вертикальные линии. Изменение позиций производят клавиатурой (увеличивают/уменьшают клавишами управления курсором и PAGEUP/PAGEDOWN или явным вводом значения) или непосредственно в окне сканирования мышью.

При нажатии клавиши [Увеличение] находящийся между линиями курсора фрагмент растягивается на всю ширину окна сканирования. При этом надпись на клавише изменяется на [Уменьшение]. При повторном нажатии восстанавливается первоначальное состояние.

После изменения области контроля или задержки «Уменьшение» невозможно.

Клавишами [M1] и [M2] в окне «Курсор» очень быстро могут устанавливаться на мониторе стробы. Поэтому возможно быстрое изменение масштаба изображения этих областей.

## **3. Функциональная группа «Изображение»**

Установки в этой группе функций служат более наглядному представлению А-изображения.

Круглыми кнопками можно выбирать представление А-развертки «Контур» или «Заливка».

Представление «Заливка» применимо для всех разновидностей выпрямления (Пол./Отр./Сум.), однако возможно только в режиме «Максимальное значение» (Заморозка А-изображения).

Если маркер поставлен в поле «Максимальное значение», замораживаются все значения отраженного сигнала, что позволяет, например, при плохом акустическом контакте ПЭП добиваться максимумов.

Установка (по умолчанию) маркера в поле «Сохранять параметры» позволяет оставлять все установленные параметры при переходе к другой точке измерения. В противном случае для всех параметров устанавливаются значения по умолчанию. Эта функция действует в пределах выбранного логического канала, т. е. невозможна активация функции «Сохранять параметры» для другого логического канала.

Раскрывающийся список «Обновление» предлагает выбор между тремя различными значениями частоты обновления А-развертки: «Высокая», «Средняя», «Низкая». Максимальная частота ограничивается частотой регенерации изображений видеоплаты и, соответственно, монитора. Типичные значения для PCUS-10—70 Гц и для PCUS-11—100 Гц! При уменьшении частоты представления А-развертка обновляется реже; разумеется, при самом быстром перемещении ПЭП сигналы будут фиксироваться пиковым детектором.

#### **4. Глобальные действия**

Вызов группы функций (точка измерения).

В этой группе функций находятся глобальные данные. Здесь также можно менять ПЭП. Выбор номера точки измерения может происходить как в окне обзора, так и непосредственно из этой группы функций. Номер точки измерения выбирается из списка. ПЭП может выбираться из раскрывающегося списка. Вставка или удаление имени ПЭП возможны только в пункте меню «План контроля» (пункт меню «Настройки»).

Наряду с обозначением ПЭП показываются также его тип (совмещенный, раздельно-совмещенный) и акустическая задержка.

Изменение ПЭП разрешено для каждой точки измерений, однако затем должна быть заново выполнена калибровка. Для каждой точки измерения возможен ввод комментария. Он может содержать максимально 255 символов. Для каждого файла измерений возможен, кроме того, комментарий размером до 255 символов.

### Команда **ОКНО СКАНИРОВАНИЯ**

При выборе этого пункта открывается вложенное меню, в котором находятся команды, позволяющие модифицировать окно сканирования. Развертка может представляться с различной дискретностью (400, 800 и 1200 значений). Максимально возможная величина дискретности ограничивается разрешающей способностью дисплея.

Расположение окна сканирования может изменяться (см. Операции с окнами), а также оно может быть свернуто.

Посредством мыши возможно изменение масштаба изображения и прокрутка окон А-развертки (см. также «Количество измерений на А-развертке»).

В подменю «Показать параметры» можно управлять параметрами в окне А-развертки:

- Выбор параметра;
- Выбор единицы измерения (например, [мм] или [дюйм]);
- Шрифт/Цвет/Величина представления параметра;
- Показывать или нет обозначение параметра.

Параметр будет индицироваться во время измерения, а также при индикации точки измерения. В другом случае (пустой блок данных) показывается «-.-».

Все установки записываются в текущем файле рабочего стола.

### Команда **АНАЛИЗ**

В пределах окна «Анализ» могут рассматриваться измеренные ранее осциллограммы сигналов. Возможно изображение до 6 окон сканирования. Расположение и величина отдельного окна сканирования может изменяться (операции с окнами). Выбор представляемого окна сканирования происходит посредством мыши или клавиатуры из списка. Клавишей [Развернуть] (ALT+A) представляются на экране отдельные окна соответственно номеру из списка. Закрыть окна «Анализ» можно клавишей [Назад] (ALT+Z).

Переход между отдельными окнами оценки производится клавишей F2 или просто щелчком мыши. Возврат к основному меню производится клавишей F3.

В каждом окне оценки располагается собственное меню, в котором могут выбираться различные моды представления сигнала. При этом может изменяться, к примеру, способ выключения и выключаться отсечка шумов.

### Команда **ОБЗОР**

Окно обзора предоставляет возможность редактировать отдельные точки измерений в файле измерений. Представляются функции управления: «Выбор», «Удаление», «Упаковка». Выбор точки измерения возможен щелчком клавишей мыши или выбором из списков с помощью клавиатуры.

Описание функций мыши (обработка таблицы точек измерения, номера измеренных точек выделены шрифтом):

- однократное нажатие левой клавиши мыши — изменение статуса выбора точки измерения;
- Shift + левая клавиша мыши — изменение статуса выбора всех отмеченных точек измерения;
- двойное нажатие левой кнопки мыши — активация точки измерений.

В окне «Обзор» можно изменять такие параметры, как Фильтр, Удаление, Упаковка, Сохранение, Указание; могут выбираться только измеренные точки.

### Команда **ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ**

Панель инструментов находится в верхней части окна PCUSware3 под строкой меню (см. рис. 1.1). Она может выключаться с помощью меню.

В панели инструментов находятся:

- клавиша [СТАРТ/СТОП];
- клавиши [Выбор канала];
- клавиши [Группы функций].

В пределах клавиш выбора логических каналов показываются следующие сведения:

- соединение с УЗ-платой:
  - символ «1 О» (соединение с УЗ-платой № 1);
  - символ «? О» (канал не подключен к УЗ-плате);
- статус канала:
  - зеленый индикатор (Первичный (главный) канал);
  - желтый индикатор (Вторичный канал);
- цвет клавиши логического канала:
  - серый (Канал не подключен к УЗ-плате);
  - красный (Дефект УЗ-платы);
- статус настройки:

Р = канал настроен = измерение возможно.

Клавиши быстрого включения групп функций располагаются и подгоняются по величине в зависимости от выбранной разрешающей способности дисплея. Группа функций может активироваться клавишей быстрого выбора, если она находится на рабочем столе. В этом случае группа функций выделяется. Если группа функций не находится на рабочем столе, то открывается окно группы функций в правом верхнем углу рабочего стола. Пока это окно открыто, другие функции не могут запускаться. Окно группы функций закрывается клавишей ESC.

### Функция **СТРОКА СОСТОЯНИЯ**

Строка состояния находится около нижней кромки экрана. В ней слева выводятся актуальные уведомления, а справа — имя использованного файла рабочего стола.

#### 1.2.7. Пункт меню «ЭКРАН»

Все функции управления и конфигурации экрана находятся в одноименном пункте меню.

В этом пункте меню задаются:

- величина и позиция окна сканирования;
- наличие панели инструментов;
- наличие строки состояния;
- позиция окна обзора;
- позиция и величина отдельных групп функций;
- размеры и расположение элементов системы управления в пределах группы функций (раздельно для каждой группы функций);
- сетка для позиционирования и задания размеров групп функций для всего рабочего экрана;
- цветовая настройка экрана.

Индивидуальные настройки экрана могут сохраняться в файлах под собственными именами. Это удобно при использовании различной разрешающей способности дисплея. Настройки экрана не зависят от версии языка PCUSware.

Операции настройки экрана:

- загрузить настройки экрана;
- сохранить настройки экрана;
- вставить и удалить группу функций;
- переместить и изменить размер группы функций;
- задать параметры группы функций;
- расположить группу функций;
- цветовая настройка.

Имя файла выбранной настройки экрана показывается в строке состояния.

### **1.3. Последовательность шагов при измерении**

---

#### **1. PCUSware3 — старт**

PCUSware3 начинает работу с открытия файла измерений «Без имени». Логическим каналам 1...4 выделены по умолчанию точки измерений. Все параметры установлены на стандартные значения по умолчанию.

## **2. Меню: «Настройки» — «Коммутация каналов»**

PCUSware3 при первом старте после установки автоматически выделяет логический канал узнанной PCUS-платы. В клавишах включения каналов зеленые индикаторы показывают столько первоначальных логических каналов, сколько обнаружено УЗ-лат. Эти же клавиши служат для назначения еще свободных логических каналов любой PCUS-платы. В этих каналах будут созданы вторичные каналы (желтый индикатор), которые здесь не рассматриваются.

## **3. Выбор канала**

Нажать на клавишу выбора канала посредством мыши или с помощью клавиатуры выбрать Канал [x] в меню «Коммутация каналов».

## **4. Меню: «Настройки» — «ДАнные ПЭП»**

### **1) Выбор ПЭП из списка.**

Если база данных ПЭП пустая или используется ПЭП, параметры которого не занесены в базу данных, ввод параметров нового ПЭП производится клавишей [ДОБАВИТЬ];

### **2) Выбор контактной среды, метода измерения, метода контроля и синхронизации.**

Контактная среда, метод измерения, метод контроля и синхронизация выбираются в нижней части окна **ДАнные ПЭП**.

После закрытия диалогового окна **ДАнные ПЭП** командой ОК данный логический канал считается настроенным, функции включения клавиш выбора канала [P] и [СТАРТ/СТОП] становятся доступными. С этого момента можно начинать измерения.

## **5. Калибровка ПЭП**

Выбрать меню «Настройки — Калибровка — автоматически/вручную». Если к этому моменту калибровка не проводилась, нужно установить в окне группы функций «Калибровка» скорость звука проверяемого материала. При использовании наклонного ПЭП должна быть проведена хотя бы ручная калибровка.

## **6. Измерение**

Режим измерения может включаться клавишами [СТАРТ/СТОП], F5 и через меню Контроль — [СТАРТ/СТОП]. Все параметры (усиление, диапазон развертки ...) могут изменяться также во время измерения.

Измерение останавливается повторным нажатием клавиш [СТАРТ/СТОП] или F5.

Логическому каналу выделяется точка измерения (если измерения не производились — выделяется идентично номеру канала). После нажатия клавиш [СТАРТ/СТОП] или F5 результаты измерения сохраняются в данной точке измерения. Теперь необходимо присвоить имя файлу и сохранить его (см. пункт меню Файл, Сохранить как в PCUSware).

## **7. Выход из PCUSware3**

Выход из PCUSware3 возможен через меню «Файл» — «Выход» или при нажатии комбинации клавиш ALT + F4.

Если между последним сохранением и выходом из программы проводились измерения, то появляется приглашение сохранить данные. Все установки также сохраняются в файле измерений.

Записанный файл измерений может быть загружен после запуска PCUSware3 через меню «Файл» — «Выход». Если задана опция «При окончании сохранять», при запуске PCUSware3 автоматически открывается последний файл измерений.

## **1.4. Специальные возможности**

---

### **1.4.1. Горячие клавиши**

Посредством горячих клавиш (ALT и подчеркнутой буквы) можно быстро переключаться между параметрами внутри групп функций. Быстрый выбор пунктов меню происходит также нажатием ALT и подчеркнутой буквы.



### 1.4.2. Специальные функции мыши

В программе PCUSware можно использовать следующие специальные функции мыши.

#### **В окне обзора (обработка данных измерений)**

- 1) Левая кнопка мыши — изменение статуса выбора точки измерения.
- 2) Shift + левая кнопка мыши — изменение статуса выбора всех помеченных точек измерения.
- 3) Двойное нажатие левой кнопки мыши — активация точки измерения.

#### **В окне группы функций**

- 1) Правая кнопка мыши + CTRL — изменение величины окна группы функций.

Посредством клавиш управления курсором или мышью может изменяться величина окна. Клавиша ENTER закрывает этот режим с сохранением новой величины окна; клавиша ESC приводит только к выходу из этого режима.

- 2) Правая кнопка мыши + SHIFT — изменение позиции группы функций.

Указатель мыши изменяет вид; теперь движением мыши можно переместить окно в желаемое положение.левой кнопкой мыши или клавишей ENTER фиксируется новое положение окна.

Клавиша ESC восстанавливает первоначальное положение.

#### **В окне сканирования**

С помощью мыши могут изменяться усиление, диапазон и задержка развертки, вид сигнала и точка измерения. При этом используются следующие правила:

- левая кнопка мыши: значение увеличивается с малым шагом;
- правая кнопка мыши: значение уменьшается с малым шагом;

- SHIFT + левая кнопка мыши: значение увеличивается с большим шагом;
- SHIFT + правая кнопка мыши: значение уменьшается с большим шагом.

Можно изменять параметры мышью, если щелкнуть по объекту, расположенному на экране:

- усиление: индикаторная полоса;
- начало развертки: численное значение слева внизу окна сканирования;
- диапазон развертки: наибольшее значение абсциссы внизу окна сканирования;
- вид сигнала: текстовое поле слева внизу окна сканирования;
- точка измерения: надпись ТИ в центре внизу окна сканирования.

В режиме графического редактирования в окне сканирования мышью можно сдвигать и удалять опорные точки АСД- и ВРЧ-кривых (подробнее см. ВРЧ и АСД на с. 21–24).

### 1.4.3. Задание параметров измерений

Изменяемые параметры находятся в различных окнах групп функций. Они могут иметь следующий вид.

1. Метка ☐ параметр не установлен  
☒ параметр установлен

Устанавливается клавишей [ПРОБЕЛ] или мышью.

2. Значение в окне редактирования  может уменьшаться и увеличиваться:


- клавишами управления курсором:  
ВВЕРХ — увеличение с маленьким шагом;  
ВНИЗ — уменьшение с маленьким шагом;

- клавишами:

PAGE UP — увеличение с большим шагом;

PAGE DOWN — уменьшение с большим шагом.

Кроме того, значение можно вводить непосредственно в окне. Оно активируется щелчком мыши или нажатием клавиш табуляции и ENTER.

3. Переход между параметрами внутри окна группы функций осуществляется клавишей [ТАБУЛЯЦИЯ] () или горячими клавишами.

4. Метка ☐ параметр не установлен  
☒ параметр установлен

Устанавливается клавишей [УПРАВЛЕНИЕ КУРСОРОМ] или мышью.

#### 1.4.4. Операции с окнами

Программа PCUSware позволяет осуществлять различные операции с окнами с помощью мыши и клавиатуры.

##### Навигатор клавиатуры

1. Функциональной клавишей F2 можно переключать группы функций. Переключение производится последовательно. Для лучшего восприятия выбранная группа выделяется в виде выпуклого прямоугольника. Группы функций можно менять также из основного меню клавишей F2.

2. Функциональная клавиша F3 служит для переключения из любой группы функций назад в главное меню и наоборот.

3. При нажатии клавиши F1 появляется контекстная помощь.

4. При нажатии функциональной клавиши F5 начинается и останавливается измерение.

5. При нажатии ALT+F4 закрывается окно помощи.

### **Сдвиг окна группы функций**

1. Переход к соответствующей группе функций осуществляется нажатием клавиши F2 или щелчком левой клавиши мыши по этой группе функций.

2. Горячие клавиши открывают меню Экран; клавишами ALT+V выбирают пункт «Сдвиг группы». Если имеется в наличии мышь, достаточно нажать клавишу SHIFT и щелкнуть правой клавишей мыши на соответствующей группе.

3. Перемещают окна групп функций посредством клавиш управления курсором или мышью.

4. Нажатием клавиши ENTER или левой клавиши мыши фиксируется новое положение окна группы функций. При нажатии клавиши ESC будет восстановлена первоначальная позиция.

### **Изменение величины окна группы функций**

1. Выбрать соответствующую группу функций клавишей F2 или щелчком левой клавиши мыши.

2. Используя клавиши управления курсором или горячие клавиши ALT+T и ALT+Z, нужно выбрать пункт «Изменение размера» из меню «Экран». При наличии мыши достаточно щелкнуть правой клавишей мыши одновременно с нажатием клавиши CTRL на соответствующей группе функций.

3. Изменить размер окна посредством клавиш управления курсором или мышью.

4. Нажатием клавиши ENTER или левой клавиши мыши фиксируется новый размер окна группы функций. При нажатии клавиши ESC будет сохранена первоначальная величина окна.

## 1.5. Окно результатов

Окно результата — функциональное окно, параметры которого не поддаются редактированию. В нем представляются результаты текущего измерения. Функциональное окно **РЕЗУЛЬТАТЫ** должно постоянно выводиться на экран (см. Экран). Схема прозвучивания представлена на рис. 1.2.

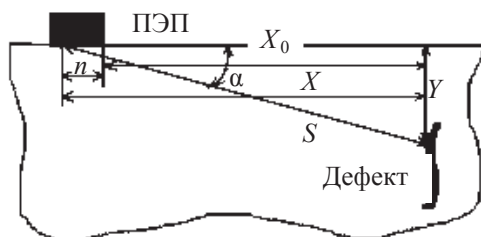


Рис. 1.2. Схема прозвучивания

Постоянно рассчитываются и показываются следующие параметры:

**X:** проекция пути звука в металле на поверхность сканирования;

**$X_0$ :** проекция пути звука в металле на поверхность сканирования, уменьшенная на величину  $n$  стрелы ПЭП;

**Y:** глубина залегания дефекта;

**S:** путь звука в металле (от точки ввода до дефекта).

При выборе соответствующей опции вместо пути в [мм] может отображаться время распространения сигнала в [μs].

**Амп:** Уровень сигнала на экране показывается в процентах и измеряется в пределах строба.

Для правильного расчета результатов важны данные ПЭП:

- угол ввода  $z$  и стрела  $X$ ;
- толщина (радиус) образца (ВАЖНО для наклонного ПЭП!).

Если для наклонного ПЭП результаты были рассчитаны неверно, то необходимо проверить, правильно ли задана толщина.

Кроме того, важно, чтобы калибровка (хотя бы ручную) была выполнена.

## 2. Дефектоскоп Интротест-1М

---

### 2.1. Технические характеристики

Дефектоскоп Интротест-1М предназначен для контроля материалов, заготовок, изделий и оборудования в различных отраслях. Дефектоскоп может применяться как в производственных, так и в полевых условиях. Интротест-1М — это современный цифровой прибор, имеющий простое, понятное управление.



Рис. 2.1. Дефектоскоп Интротест-1М

Характеристики системы «Интротест-1М»:

- метод контроля — эхо-импульсивный, теневой;
- диапазон рабочих частот изменяется от 1 до 10 МГц;
- амплитуда зондирующего импульса может быть 200 или 400 В;
- частота АЦП равна 80 МГц;

- фильтры — 2, 5, 10 МГц и без фильтра;
- тип разъемов для ПЭП — Lemo 00;
- диапазон рабочих температур составляет 0–50 °С;
- масса с аккумуляторами равняется 2,7 кг;
- габариты: 270×160×63 мм.

## 2.2. Интерфейс управления

Справа находится меню управления прибором. Здесь находятся такие функции как УСИЛЕНИЕ, СТРОБ1, СТРОБ2, ПЭП, ЭКРАН, ВРЧ, ОПЦИИ, НАСТРОЙКИ и ЦИФРЫ.



Рис. 2.2. Кнопки управления

Для того что бы начать измерение, необходимо нажать кнопку «ПУСК». При получении нужной картинке ее необходимо зафиксировать на экране, нажав кнопку «СТОП».



Кнопки левого столбца с цифрами применяются для выбора нужного подпункта меню. Кнопки «+» и «-» служат для перемещения в меню, а также для корректировки необходимого параметра. Также некоторые параметры можно ввести численно. Для этого воспользуйтесь кнопкой «ЦИФРЫ», а затем введите необходимое значение параметра.

### 2.2.1. Пункт меню «УСИЛЕНИЕ»

<div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>				УСИЛЕНИЕ	<div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div></div>
				СТУПЕНЧ.	
				6 дБ	
				ПЛАВНО	
				50 дБ	
				СТАНДАРТ	
				ОТМЕНА	
5.0	50.0	100.0	150.0		
A1 = 0.0 дБ X1 = 0.0 мм Y1 = 0.0 мм					
A2 = 0.0 дБ X2 = 0.0 мм Y2 = 0.0 мм D = 0.0 мм					

Рис. 2.3. Пункт меню «УСИЛЕНИЕ»

При нажатии на главной панели кнопки с надписью «УСИЛЕНИЕ» на экране появляется пункт меню «Усиление» в виде таблицы.

Команда «СТУПЕНЧ.» позволяет регулировать усиление сигнала по 6 дБ, а команда «ПЛАВНО» по 0,1 дБ, при этом увеличение или уменьшение параметра осуществляется кнопками «+» и «-» на главной панели прибора.

Команда «СТАНДАРТ» позволяет сбросить настройки и восстановить значение параметров по стандарту.

С помощью команды «ОТМЕНА» вы можете вернуться к тем настройкам, которые стояли до данного редактирования.

### 2.2.2. Пункт меню «СТРОБ 1» и «СТРОБ 2»

<div></div>				СТРОБ 1/ СТРОБ 2	<div>1</div>
				НАЧАЛО 60 мм	
				ШИРИНА 60 мм	
				УРОВЕНЬ 30 %	
				ТИП +	
5.0	50.0	100.0	150.0	A1 = 0.0 дБ X1 = 0.0 мм Y1 = 0.0 мм A2 = 0.0 дБ X2 = 0.0 мм Y2 = 0.0 мм D = 0.0 мм	

Рис. 2.4. Пункт меню «СТРОБ 1» и «СТРОБ 2»

При нажатии на главной панели кнопки с надписью «СТРОБ 1» или «СТРОБ 2» на экране появляется пункт меню «строб 1» или «строб 2» в виде таблицы. В этом меню находятся команды управления стробами.

Команда «НАЧАЛО» позволяет сдвигать строб вправо и влево.

С помощью команды «ШИРИНА» можно регулировать длину выбранного строба.

Команда «УРОВЕНЬ» позволяет сдвигать строб вверх или вниз.

С помощью команды «ТИП» вы можете установить реакцию прибора на положение сигнала относительно строба. Когда указан тип «+», срабатывает лампочка дефектоскопа, что означает, что сигнал импульса выше строба. В случае установки типа «—» лампочка горит, если импульс ниже строба.

### 2.2.3. Пункт меню «ПЭП»

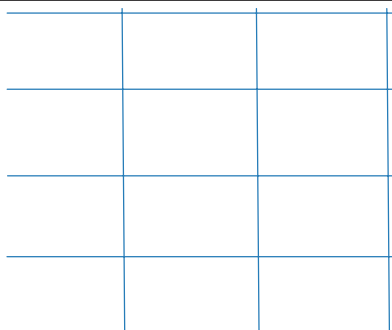

				ПЭП	
				НОМЕР: встроен.	
				ЧАСТО- ТА\ТИП	
				5.0 МГц\СОВ	
				УГОЛ\ЗА- ДЕРЖ. 65\5.20	
5.0	50.0	100.0	150.0	УДАЛИТЬ	
A1 = 0.0 дБ X1 = 0.0 мм Y1 = 0.0 мм A2 = 0.0 дБ X2 = 0.0 мм Y2 = 0.0 мм D = 0.0 мм					

Рис. 2.5. Пункт меню «ПЭП»

При нажатии на главной панели кнопки с надписью «ПЭП» на экране появляется пункт меню «ПЭП» в виде таблицы.

Команда «НОМЕР» позволяет выбрать из памяти сохраненные характеристики ПЭП или настроить собственный при выборе пункта меню «встроен».

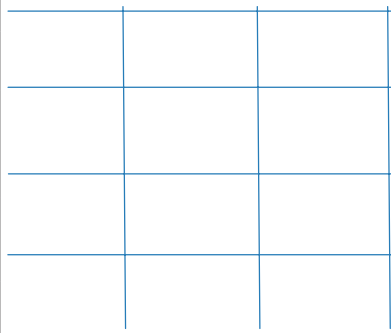
С помощью команды «ЧАСТОТА/ТИП» вы можете настроить такие параметры преобразователя, как частота и тип. Частота — частота сигнала, на которой датчик работает. Эту информацию вы можете взять на самом пьезоэлектрическом преобразователе. Тип характеризует способ подключения датчика к дефектоскопу:

- «раздельно» выбирается, когда к дефектоскопу подключаются два преобразователя, один из которых выполняет функцию излучателя, а другой — приемника;
- «совмещ.» — в случае подключения одного преобразователя, который выполняет обе функции.

Команда «УГОЛ/ЗАДЕРЖ.». Угол — это угол, под которым ПЭП подает сигнал. Если угол прямой, то следует указать «0 °», а если наклонный, то необходимо указать его величину. Задержка — это время, в течение которого волна движется внутри преобразователя. Этот параметр указан в паспорте на ПЭП или его можно самостоятельно измерить с помощью стандартных образцов.

Команда «УДАЛИТЬ» — возвращение к первоначальным настройкам.

## 2.2.4. Пункт меню «ЭКРАН»

				ЭКРАН
				НАЧАЛО 5 мм
				ДИАПАЗОН 200 мм
				СКОР./МЕ- ТОД 5950 м/с
				ТОЛЩИНА
5.0	50.0	100.0	150.0	5 мм
A1 = 0.0 дБ X1 = 0.0 мм Y1 = 0.0 мм A2 = 0.0 дБ X2 = 0.0 мм Y2 = 0.0 мм D = 0.0 мм				

1

2

3

4




Рис. 2.6. Пункт меню «ЭКРАН»

При нажатии на главной панели кнопки с надписью «ЭКРАН» на экране появляется пункт меню «Усиление» в виде таблицы.

Команды «НАЧАЛО» и «ДИАПАЗОН» позволяют проградуировать шкалу, т. е. установить ее начальные и конечные значения. По умолчанию на приборе выставлено начало с 5, но необходимо выставить на 0.

С помощью команды «МЕТОД» можно выбрать метод контроля: эхо-метод или теневой метод.

Команда «ТОЛЩИНА». В данном пункте меню задается толщина изделия, которое подвергается проверке на дефекты.

### 2.2.5. Пункт меню «ВРЧ»





ВРЧ:		Выключена	
Расстояние, мм	Усиление, дБ		
0	0.0	ПРАВКА	
		УДАЛИТЬ	
		ВЫХОД	
A1 = 0.0 дБ X1 = 0.0 мм Y1 = 0.0 мм			
A2 = 0.0 дБ X2 = 0.0 мм Y2 = 0.0 мм			

Рис. 2.7. Пункт меню «ВРЧ»

При нажатии на главной панели кнопки с надписью «ВРЧ» на экране появляется пункт меню «ВРЧ» в виде таблицы. В первом столбце указана глубина залегания отражателя, а во втором — соответствующее этой глубине усиление.

При нажатии кнопки «1» в левом столбце главной панели прибора вы можете включить или выключить функцию ВРЧ.

С помощью команды «ПРАВКА» можно исправить введенные данные, при этом передвижение по таблице осуществляется кнопками «+» и «-» на главной панели прибора.

Команда «УДАЛИТЬ» позволяет очистить всю строку.

## 2.2.6. Пункт меню «ПРОСМОТР»

<div></div>				ПРОСМОТР	<div><div>1</div></div>
				ИЗМЕРЕНИЕ точка 12 1998-01-01 01:46	
				КОММЕНТАРИЙ	
				НАСТРОЙКА	
5.0	50.0	100.0	150.0		
A1 = 0.0 дБ X1 = 0.0 мм Y1 = 0.0 мм					
A2 = 0.0 дБ X2 = 0.0 мм Y2 = 0.0 мм D = 0.0 мм					

Рис. 2.8. Пункт меню «ПРОСМОТР»

При нажатии на главной панели кнопки с надписью «ПРОСМОТР» на экране появляется пункт меню «Просмотр» в виде таблицы. При измерении на экране отображается график сигнала. После процесса измерения при получении нужной картинки необходимо сохранить результат измерения, нажав кнопку «7/СОХРАНИТЬ» на главной панели прибора.

Команда «ПРОСМОТР» позволяет посмотреть сохраненные точки измерения.

В пункте «КОММЕНТАРИЙ» можно увидеть параметры сохраненного результата измерения. Используя кнопки «+» и «-» на главной панели прибора, можно перелистывать уже сохраненные точки измерений.

С помощью команды «НАСТРОЙКА» в нижней части экрана высвечивается окно результатов, в котором указываются значения величин:

- «A1» и «A2» — амплитуда сигнала, измеренного первым и вторым стробмаркером соответственно, т. е. насколько ниже или выше строфа находится сигнал;

- «X1» и «X2» — координаты дефектов, т.е. насколько по горизонтали ПЭП отдален от дефекта;
- «Y1» и «Y2» — координаты дефектов, т.е. насколько по вертикали ПЭП отдален от дефекта;
- «D» — разница между «Y1» и «Y2».

### 2.2.7. Пункт меню «ОПЦИИ»

<div></div>				ОПЦИИ	<div><div>1</div><div>2</div><div>3</div><div>4</div></div>	
				АМПЛИТУДА 400 В		
				ОТСЕЧКА 0 %		
				УСРЕДНЕ- НИЕ 1		
				ДОП. ПАРАМЕТРЫ		
5.0	50.0	100.0	150.0			
A1 = 0.0 дБ X1 = 0.0 мм Y1 = 0.0 мм						
A2 = 0.0 дБ X2 = 0.0 мм Y2 = 0.0 мм D = 0.0 мм						

Рис. 2.9. Пункт меню «ОПЦИИ»

При нажатии на главной панели кнопки с надписью «ОПЦИИ» на экране появляется пункт меню «Опции» в виде таблицы. В данном пункте меню содержатся характеристики дефектоскопа, которые вы можете изменять.

Команда «АМПЛИТУДА» позволяет регулировать амплитуду зондирующего импульса с помощью установки определенного уровня напряжения, которое подается на преобразователь.

С помощью команды «ОТСЕЧКА» можно регулировать уровни сигналов. Здесь вы можете установить минимальную высоту сигнала, которую будет регистрировать прибор. Благодаря использованию данного параметра можно сгладить шумы.

Команда «УСРЕДНЕНИЕ»: используя данную функцию, можно сгладить импульсы. Если параметр задан равным единице, то сглаживания не происходит.

В пункте меню «ДОП. ПАРАМЕТРЫ» содержатся:

- фильтр;
- импеданс;
- выпрямление;
- звуковой сигнал.

Функция «Фильтр» позволяет пропускать сигнал необходимой частоты. Параметр устанавливается в зависимости от выбора частоты ПЭП. Можно задать уровни: 2 МГц/5 МГц/12 МГц/Без фильтра.

С помощью функции «Импеданс» возможна регулировка входного сопротивления дефектоскопа. При уменьшении входного сопротивления увеличивается чувствительность, т. е. проходит более сильный сигнал. Можно задать уровни: 50 Ом/300 Ом.

Функция «Выпрямление» характеризует режим отображения сигналов на экране. Существует два режима работы: выпрямление и ВЧ.

При включении «Выпрямления» на экран выводится видео-импульс в виде вертикальных пиков. При включении «ВЧ» на экран выводится радио-импульс, содержащий колебательную структуру волны.

Функция «Звуковой сигнал» необходима для того, чтобы сообщить: амплитуда сигнала достигла допустимого (браковочного) уровня.

### **2.2.8. Пункт меню «НАСТРОЙКИ»**

При нажатии кнопки «НАСТРОЙКИ» появляется окно, где приведены все текущие настройки: ПЭП, ЭКРАН, СТРОБ и др. С помощью команд «СОХРАНИТЬ» и «УДАЛИТЬ» можно внести изменения.



Параметры					Текущие 0
ПЭП. встроен.	Усил. 50.0	Фильтр 5 МГц	Ампл. 400 В	Импед. 300 Ом	
Строб	Начало	Ширина	Уров.	Сост.	СОХРАНИТЬ
	20	30	50 %	+	
	60	60	30 %	+	
Экран	Начало	Ширина	Сигнал	Скорость	УДАЛИТЬ
	5	201	Выпрям.	5950	
Толщина 5	ВРЧ Выключ.	Отсечка 0%	Усредн. 1		ОТМЕНА

Рис. 2.10. Пункт меню «НАСТРОЙКИ»

Если в пункте «НАСТРОЙКИ» присутствует фраза «Текущие», то имеющиеся настройки прибора являются несохраненными. Если вам необходимо сохранить их, то нажмите кнопку «СОХРАНИТЬ». При этом необходимо ввести название сохраняемой записи цифрами. Также вы можете выбрать уже ранее использованные готовые настройки прибора, используя кнопки «+» и «-» на главной панели. Если вам необходимо удалить сохраненные настройки, то используйте кнопку «УДАЛИТЬ».

## 2.3. Последовательность шагов при измерении

1. Для того чтобы включить прибор, нажать кнопку «Сеть», расположенную на боковой панели прибора.
2. Выполняется загрузка операционной системы.
3. Подключить требуемый датчик через вход. Подготовить изделие к измерению: установить контролируемый образец в положение для измерения, предварительно смазав его поверхность контактной жидкостью.
4. Настройка прибора осуществляется следующим образом.

- Пункт «ПЭП». Выставить частоту/тип, угол ввода и время задержки для данного преобразователя в соответствии с п. 2.2.3.
  - Пункт «ЭКРАН». Выставить следующие параметры: «Начало» равно 0; «Диапазон» равен утроенной толщине контролируемого изделия; «Скорость» — скорость звука в изделии (для прямых преобразователей — продольной волны, для наклонных — поперечной) в соответствии с п. 2.2.4.
  - Пункт «Опции». Выставить напряжение генератора (по умолчанию 400 В).
5. Нажать кнопку «Пуск». Установить преобразователь на поверхность изделия и в пункте «Усиление» отрегулировать высоту импульсов так, чтобы они помещались на экране. Нажать «Стоп», для того чтобы зафиксировать изображение на экране.
  6. Перейти в пункт «СТРОБ 1». На вопрос «Вернуть ли усиление?» ответить «Нет». Отрегулировать положение строб-маркера так, чтобы он был наведен на первый эхосигнал в соответствии с п. 2.2.2.
  7. Повторить действия для строб-маркера 2, наведя его на второй эхосигнал в соответствии с п. 2.2.2. Установить уровень строб-маркеров на одной высоте.
  8. Сохранить настройки. Для этого перейти в пункт «НАСТРОЙКИ» и сохранить их под каким-нибудь именем. Если настройки датчика и системы были ранее сохранены, то п. 4 может быть заменен выбором сохраненных настроек.
  9. Считать показания строб-маркеров с нижней строки экрана.  
Строб 1: A1, X1, Y1  
Строб 2: A2, X2, Y2
  10. Повторить п. 3—9 для другого датчика.

## 3. Дефектоскоп УД2В-П45

---

### 3.1. Общие сведения о дефектоскопе

---

**Д**ефектоскоп ультразвуковой УД2В-П45 (в дальнейшем — дефектоскоп) предназначен для контроля продукции дефектов (обнаружения дефектов) типа нарушения сплошности и однородности материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат их залегания, измерения толщины, измерения скорости распространения и затухания ультразвуковых колебаний (УЗК) в материале.

Дефектоскоп сохраняет работоспособность для частот УЗК от 0,5 до 15 МГц при контроле материалов и изделий со скоростями распространения продольных волн УЗК в диапазоне от 1000 до 9999 м/с, при этом допустимое значение затухания продольных волн УЗК в материалах определяется глубиной залегания, размерами и ориентацией дефектов.

Диапазон толщин контролируемого материала по стали (скорость УЗК 5950 м/с) до 2975 мм при теновом и до 1487,5 мм при эхо-методе контроля.

Дефектоскоп реализует теновой, эхо- и зеркально-теновой методы контроля.

Дефектоскоп эксплуатируется при температуре окружающего воздуха от +5 до +50 °С.

### Технические характеристики

Амплитуда импульса возбуждения на нагрузке 50 Ом, не менее	150 В
Длительность переднего фронта импульса возбуждения на нагрузке 50 Ом, не более	0,02 мкс
Длительность импульса возбуждения на нагрузке 50 Ом (шаг 0,25 мкс)	от 0,05 до 0,5 мкс
Частота следования зондирующих импульсов	до 800 Гц
Диапазон рабочих частот приемника по уровню –3 дБ	от 1 до 10 МГц
Максимальная чувствительность приемника при соотношении сигнал/шум 6 дБ, не хуже	80 мкВ
Диапазон регулировки усиления, с шагом	110 дБ; 0,5; 1; 2 и 6 дБ
Погрешность измерения амплитуд входных сигналов в диапазоне от 10 до 100 % высоты экрана, не более	$\pm 1$ дБ
Динамический диапазон временной регулировки чувствительности (ВРЧ)	до 90 дБ
Погрешность установки усиления в диапазоне от 10 до 100 дБ и ВРЧ, не более	$\pm 2$ дБ
Развертка	от 1 до 500 мкс
Задержка развертки	от –0,5 до 498 мкс
Диапазон измерения временных интервалов	от 0,025 до 500 мкс
Дискретность измерения временных интервалов	0,025 мкс
Отклонение основной опорной частоты $\delta_0$ , не более	0,0001
Предел относительной погрешности измерения временных интервалов (Т), не более	$\pm (\delta_0 + 0,0025/T) \times 100 \%$
Толщина протектора преобразователя	от 0 до 100 мкс
Автоматическая сигнализация дефектов (АСД)	двухзонная
Диапазон установки зон АСД	от 0 до 500 мкс
Дискретность установки зон АСД	0,025; 0,05; 0,1 или 0,2 мкс в зависимости от частотного диапазона

Регулировка порогов зон АСД	от 0 до 95 % высоты экрана при детектировании и от –95 % до +95 % в режиме радиосигнала
Детектирование сигналов	положительная полуволна, отрицательная полуволна, полное, радиосигнал
Габаритные размеры (Ш×В×Г) без аккумуляторного отсека	225×170×50 мм
Масса, не более	2 кг (без аккумулятора)
Питание	внешний источник 7...9 В, 1 А или 4 аккумулятора размера С или D
Время непрерывной работы от 4 аккумуляторов емкостью 4,5 А/ч	не менее 8 часов
Используемые ультразвуковые преобразователи	любые УЗ пьезопреобразователи для импульсных дефектоскопов

### Устройство дефектоскопа

В основу работы дефектоскопа положена способность УЗК распространяться в контролируемых изделиях от внутренних дефектов и граней изделий. Принятый сигнал усиливается, после чего преобразуется в цифровую форму и обрабатывается микропроцессором и в графическом и цифровом виде отображается на жидкокристаллическом индикаторе. Блок-схема дефектоскопа УД2В-П45 приведена на рис. 3.1.

Разъем «Питание» предназначен для подключения внешнего источника питания 7...9 В, 1 А.

Разъем «RS232 и АСД» предназначен для подключения прибора к ЭВМ и внешним регистрирующим системам при работе прибора в составе автоматизированных комплексов. Допускается

подключение к этому разъему только фирменных (изготовленных производителем) кабелей, т. к. использование нестандартных кабелей может повлечь за собой выход прибора из строя.

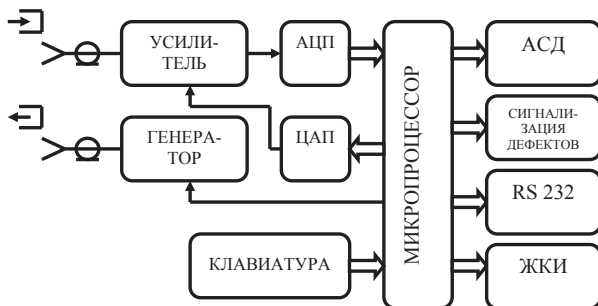


Рис. 3.1. Блок-схема дефектоскопа УД2В-П45

Разъем «Вход усилителя» предназначен для подключения приемного преобразователя. Разъем «Выход генератора» предназначен для подключения излучающего преобразователя. При работе прибора в «Совмещенном режиме» совмещенный преобразователь может быть подключен к любому из этих двух разъемов.

На передней панели дефектоскопа расположены (рис. 3.2) жидкокристаллический индикатор, клавиатура, светодиодные АСД-индикаторы.

Клавиатура состоит из 10 клавиш:

- ⊙ клавиша включения и выключения — держать нажатой не менее 2 с для включения или выключения прибора;
- ◀ ▶ клавиша выбора группы параметров;
- ⬆ ⬇ клавиша «Сервис» — сервисные функции прибора;
- ▲ ▼ клавиша выбора параметра и изменения его значения;
- ↵ клавиша «Ввод» — подтверждение выбора и изменений;
- ❄ «заморозка» сигнала;
- Ⓚ включение/выключение «а-Масштаба»;
- ✍ запись результата измерения (амплитуда, координаты или скорость) в текущий файл памяти результатов.

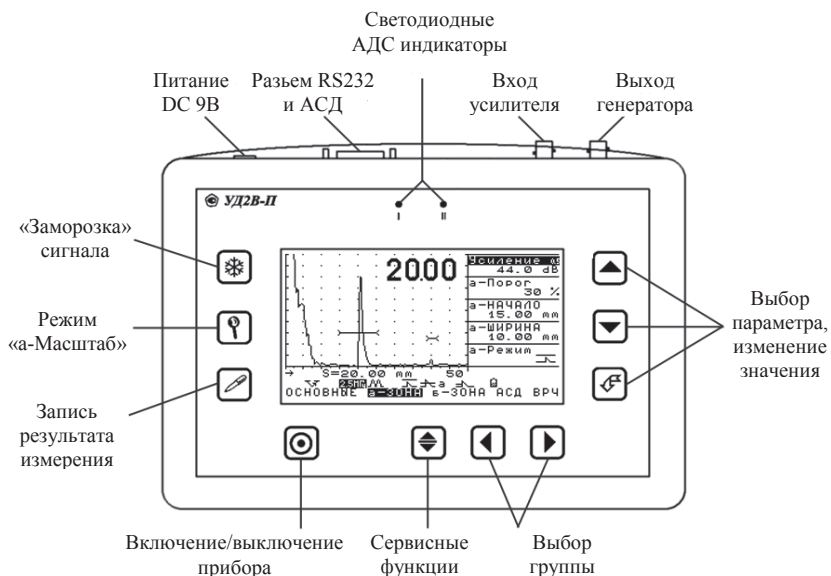


Рис. 3.2. Вид прибора спереди

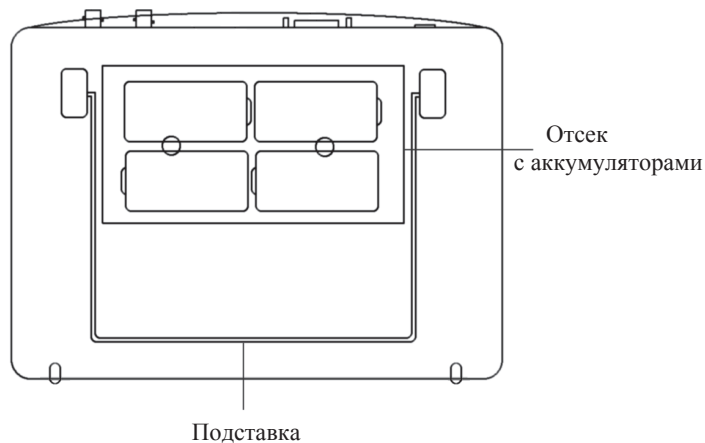


Рис. 3.3. Вид прибора сзади

На задней панели прибора находится откидывающаяся подставка, предназначенная для установки прибора в вертикальном положении.

Кроме этого на задней панели находятся контакты и крепежные отверстия для подсоединения аккумуляторного отсека. Отсеки могут быть двух размеров — для 4 аккумуляторов размера «С» и для 4 аккумуляторов размера «D». Подключение к указанным контактам других внешних источников питания не допускается!

### **Подключение внешних устройств**

Дефектоскоп имеет разъем «RS232 АСД», предназначенный для подключения внешних устройств — компьютера и дополнительных регистрирующих систем, для построения на базе прибора автоматизированных комплексов контроля. К данному разъему допускается подключение только кабелей, изготовленных фирмой-производителем, так как использование других кабелей может вывести прибор из работоспособного состояния.

## **3.2. Интерфейс и параметры дефектоскопа**

---

### **3.2.1. Система меню и клавиши**

Управление дефектоскопом организовано через систему меню. Все параметры работы прибора разбиты на группы, и в зависимости от выбранной группы пользователь получает доступ к различным параметрам (часть параметров вынесена в дополнительное меню).

Дефектоскоп может находиться в двух режимах — выбора параметра (рис. 3.4, а, курсор на названии группы и названии параметра) и изменения значения параметра (рис. 3.4, б, курсор появляется на значении).





Рис. 3.4. Режимы работы дефектоскопа

Работа в режиме выбора параметра:

- ◀ ▶ — выбор группы параметров;
- ▲ ▼ — выбор параметра;
- ⌂ — подтверждение выбора параметра, переход в режим изменения значения параметра;
- ⬇ — переход в дополнительное меню.

Работа в режиме изменения значения параметра:

- ◀ ▶ — выбор группы параметров (переход в режим выбора параметра);
- ▲ ▼ — изменение значения параметра;
- ⌂ — возврат в режим выбора параметра;
- ⬇ — сервисная функция (зависит от выбранного параметра).

Клавиши, значения которых не зависят от режима работы:

- ❄ — «заморозка» сигнала;
- Ⓜ — включение/выключение режима «а-Масштаб»;
- 📝 — запись результата измерения (амплитуда, координаты или скорость) в текущий файл памяти результатов.

### 3.2.2. Параметры дефектоскопа

Основные параметры дефектоскопа можно условно разделить на группы (табл. 3.1)


Таблица 3.1

Группы параметров дефектоскопа


Группы*	Параметры			
ОСНОВНЫЕ	Скорость	Развертка	Задержка	Отсечка
а-ЗОНА	а-Порог	а-Начало	а-Ширина	а-Режим
б-ЗОНА	б-Порог	б-Начало	б-Ширина	б-Режим
АСД	АСД Режим	Звук	Свет	—
ВРЧ	Точка	Положение	Усиление	Включить
ТРАКТ	Частота	Ан. фильтр	Циф. фильтр	Детектор
ГЗИ	Демпфер	Ширина ЗИ	Част. повт.	—
ДАТЧИК	Совм. режим	Р входа	Угол ввода	Протектор
ИЗМЕРЕНИЕ	Величина	Время	Импульс	Образец
ЭКРАН	Контраст	Подсветка	а-Масштаб	График ВРЧ
РЕЗУЛЬТАТЫ	Файл	Запомнить значение	Просмотр файла	Очистить файл
НАСТРОЙКИ	Загрузить настройку	Сохранить настройку	Загрузить рабочую настройку	—


\* В каждой группе первый параметр — УСИЛЕНИЕ.

#### 1. ОСНОВНЫЕ

**Усиление (дБ).** Регулировка усиления приемного тракта от 0 до 110 дБ с шагом 0,5; 1; 2 и 6. В режиме изменения параметра клавиша  — выбор шага изменения усиления.

**Скорость (м/с).** Скорость УЗК в контролируемом материале. Используется для индикации значения развертки и зон в миллиметрах и для измерения глубины и координат залегания дефектов, измерения толщины. Диапазон изменения от 1000 до 9999 м/с с шагом 1 м/с. При установке скоро-

сти 2000 м/с (при эхо-методе контроля, см. «Дополнительное меню») или 1000 м/с (при теневом методе) все показания в миллиметрах соответствует показаниям (совпадают) в микросекундах. В режиме изменения параметра клавиша  — перебор 4 фиксированных значений скоростей, заданных в дополнительном меню.

**Развертка.** Длительность развертки — глубина прозвучивания по лучу, индицируется в миллиметрах. Диапазон изменения от 1 до 500 мкс, с шагом  $\approx 1$  мм для установленной скорости УЗК (минимальное и максимальное значение развертки зависит от выбранного частотного диапазона). Дефектоскопом обрабатываются только сигналы, находящиеся в пределах развертки (за исключением режима «а-Масштаб»). В режиме изменения параметра клавиша  — перебор 4 фиксированных значений разверток, заданных в дополнительном меню.


**Задержка (мкс).** Задержка вывода сигнала на экран. Может принимать значения от  $-0,5$  до 0 мкс с шагом 0,025 мкс и от 0 до максимального значения развертки за вычетом текущего значения развертки, с шагом, зависящим от выбранного частотного диапазона. Суммарное значение развертки и задержки не может превышать максимальное значение развертки. Положительное значение задержки автоматически учитывается при измерении глубины, координат и толщины, отрицательная задержка может быть учтена вручную, добавлением ее значения к значению толщины протектора (см. «Датчик→Протектор»).

**Отсечка (%).** Компенсированная отсечка сигналов. Задается в % высоты экрана, может принимать значение от 0 до 80 % высоты экрана. Все сигналы, амплитуда которых меньше установленной отсечки, приравниваются к нулю. В режиме отображения радиосигнала отсечка не работает.

## 2. а-ЗОНА


**а-Порог (%).** Уровень порога в первой зоне контроля. Задается в % от высоты экрана, может принимать значения от 0 до 95 %


высоты экрана в режиме детектирования (плюс, минус, полный) и от  $-95$  до  $95\%$  в режиме отображения радиосигнала.

**а-Начало (мм).** Начало первой зоны контроля по лучу. Индицируется в миллиметрах в зависимости от заданной скорости УЗК, может принимать значения от 0 до максимального значения развертки. Точность установки зависит от выбранного частотного диапазона. В режиме изменения параметров «а-Начало», «а-Ширина», «б-Начало» и «б-Ширина» клавиша  — выбор шага изменения. Если названия этих параметров написаны маленькими буквами («а-Начало», «а-Ширина», «б-Начало», «б-Ширина»), то установлен минимально возможный шаг, если названия написаны большими буквами («а-НАЧАЛО», «а-ШИРИНА», «б-НАЧАЛО», «б-ШИРИНА»), значит, выбран шаг в 10 раз больше минимального.

**а-Ширина (мм).** Ширина первой зоны контроля по лучу индицируется в миллиметрах, точность установки эквивалентна точности установки начала зоны. Может принимать значения от 0 до максимального значения развертки. Суммарное значение начала и ширины зоны не могут превышать значение максимальной развертки.

**а-Режим.** Режим определения дефекта в первой зоне для АСД:

 — дефект, если максимальная амплитуда в зоне контроля выше или равна значению порога;

 — дефект, если максимальная амплитуда в зоне контроля меньше значения порога;

НЕТ — дефект не определяется, зона на экран не выводится.

### 3. 6-ЗОНА

**б-Порог.** Уровень порога во второй зоне контроля. Задается в % от высоты экрана, может принимать значения от 0 до  $95\%$  высоты экрана в режиме детектирования (плюс, минус, полный) и от  $-95$  до  $95\%$  в режиме отображения радиосигнала.

**б-Начало.** Начало второй зоны контроля по лучу. Индицируется в миллиметрах, в зависимости от заданной скорости УЗК может принимать значения от 0 до максимального значения развертки. Точность установки зависит от выбранного частотного диапазона.

**б-Ширина.** Ширина второй зоны контроля по лучу, индицируется в миллиметрах, точность установки эквивалентна точности установки начала зоны. Может принимать значения от 0 до максимального значения развертки. Суммарное значение начала и ширины зоны не могут превышать значение максимальной развертки.

**б-Режим.** Режим определения дефекта во второй зоне для АСД:



— дефект, если максимальная амплитуда в зоне контроля выше или равна значению порога;



— дефект, если максимальная амплитуда в зоне контроля меньше значения порога;

НЕТ — дефект не определяется, зона на экран не выводится.

#### 4. АСД

**АСД Режим.** Выбор режима срабатывания звукового сигнализатора АСД:

а-Зона — при дефекте в первой зоне;

б-Зона — при дефекте во второй зоне;

а и б — при дефекте в первой и второй зоне одновременно;


а или б — при дефекте в одной из зон;

по АРК — определение дефекта с использованием кривой «амплитуда — расстояние». В этом режиме амплитуда сигнала в первой зоне контроля сравнивается с уровнем кривой АРК в месте нахождения сигнала по времени и дефект определяется согласно значению параметра «а-Режим».

**Звук.** Включение звуковой сигнализации АСД.

**Свет.** Включение светодиодной индикации дефектов в зонах контроля.

## 5. ВРЧ

**Точка.** Выбор точки ВРЧ и индикация общего числа точек. Максимальное количество точек ВРЧ — 10. В режиме изменения параметра: кратковременное нажатие клавиши  добавляет новую точку ВРЧ, нажатие и удержание этой клавиши более 3 с — удаление текущей точки ВРЧ, а удержание этой клавиши нажатой более 10 с до звукового сигнала — удаление всех точек ВРЧ.

**Положение.** Положение текущей точки ВРЧ по времени. Может принимать значения от положения предыдущей точки (если ее нет — от 0) до положения следующей точки (если ее нет — до 500 мкс). Точность установки 0,5 мкс.

**Усиление.** Усиление в текущей точке ВРЧ. Может принимать значения от –90 до +90 дБ, точность установки 0,5 дБ.

**Включить.** Включение режима ВРЧ.

## 6. ТРАКТ

**Частота.** Выбор максимальной рабочей частоты приемного тракта (выбор частотного диапазона приемного тракта). Может принимать значения 10; 5; 2,5 и 1,25 МГц.

Таблица 3.2

Зависимость параметров работы от установленной частоты

Параметр	10 МГц	5 МГц	2,5 МГц	1,25 МГц
Дискретность измерения временных интервалов	3,125 нс	6,25 нс	12,5 нс	25 нс
Дискретность установки задержки и положения зон контроля	0,025 мкс	0,05 мкс	0,1 мкс	0,2 мкс
Минимальная развертка	1 мкс	2 мкс	3 мкс	4 мкс
Максимальная развертка	250 мкс	500 мкс	500 мкс	500 мкс

**Ан. фильтр.** Включение аналогового полосового фильтра приемного тракта. Центральная частота полосы пропускания равна максимальной рабочей частоте тракта.

**Циф. фильтр.** Выбор полосы цифрового фильтра осуществляется согласно данным табл. 3.3. Цифровой фильтр выполнен в виде полосового фильтра с центральной полосой пропускания, равной максимальной рабочей частоте тракта. Могут быть установлены следующие полосы цифровых фильтров (см. табл. 3.3).

Таблица 3.3

Зависимость полос цифровых фильтров от частоты тракта


Цифровой фильтр	10 МГц	5 МГц	2,5 МГц	1,25 МГц
Широкополосный	0,5..16	0,5..8	0,5..4	0,5..2
Широкий	6,2..13,8	3,1..6,9	1,55..3,45	0,77..1,73
Средний	7,4..12,6	3,7..6,3	1,85..3,15	0,92..1,58
Узкий	8,4..11,6	4,2..5,8	2,10..2,90	1,05..1,45

**Детектор.** Выбор вида детектирования сигнала. Может принимать значения: полный, плюс — положительная полуволна, минус — отрицательная полуволна, радиосигнал.

## 7. ГЗИ

**Демпфер.** Включение демпфирующего резистора 50 Ом на выходе генератора.

**Ширина ЗИ.** Регулировка длительности импульса возбуждения, может быть установлена от 50 до 500 нс, с шагом 25 нс.

**Част. повт.** Измерение частоты повторений импульсов возбуждения, для этого установите курсор в режиме выбора параметра на этот параметр и нажмите клавишу , через 1 секунду, значением этого параметра будет частота повторений зондирующих импульсов в Гц.

## 8. ДАТЧИК

**Совм. режим.** Включение совмещенного режима — разъем входа усилителя и выхода генератора объединяются (становятся идентичными), и возможно подключение к прибору совме-

щенных преобразователей с использованием кабеля с одним разъемом (либо ко входу усилителя, либо к выходу генератора).

**Входа.** Установка входного сопротивления усилителя 50 Ом (демпфирование входа усилителя). При совмещенном режиме и включенных демпфере генератора и данного параметра входное сопротивление усилителя составит 25 Ом.

**Угол ввода.** Угол ввода УЗК в материал задается от 0 до 85 ° с шагом 1°.

При угле ввода, отличном от 0, в режиме измерения «S, mm» происходит вычисление глубины и расстояния от дефекта (рис. 3.5), оба значения можно увидеть только при вводе результата измерения на экран большими цифрами.

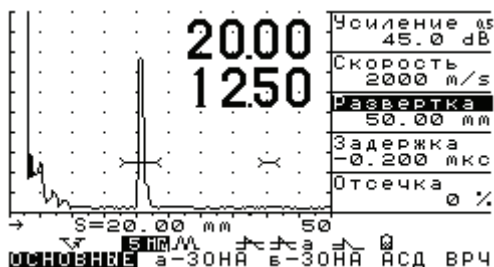


Рис. 3.5. Режим вычисления глубины и расстояния от дефекта:  
20.00 — глубина отражателя, 12.50 — расстояние от точки ввода до отражателя по поверхности

**Протектор.** Толщина протектора преобразователя задается от 0 до 100 мкс с шагом 0,01 мкс. Значение этого параметра учитывается при измерении глубины и координат залегания дефектов.

## 9. ИЗМЕРЕНИЕ

**Величина.** Выбор измеряемой величины:

«H, %» — измерение амплитуды сигнала в первой зоне, в процентах относительно высоты экрана;



« $H$ , dB» — измерение амплитуды сигнала в первой зоне в децибелах относительно уровня порога в первой зоне или относительно кривой «амплитуда — расстояние» при включенном режиме АСД «по АРК»;

« $\bar{H}$ , %» — измерение среднего значения амплитуды в первой зоне, в процентах высоты экрана;

« $A$ , dBc» — измерение амплитуды сигнала в децибелах относительно опорного сигнала, уровень которого задается в дополнительном меню (при этом режим измерения функции ВРЧ автоматически отключается);

« $S$ , mm» — измерение глубины и координат залегания дефектов или толщины объекта контроля;

« $V$ , m/s» — измерение скорости распространения УЗК в образце заданной толщины.

**Время.** Способ определения времени прихода сигнала в зоне контроля:

«по пику» — по положению максимального сигнала в зоне контроля;

«по фронту» — по первому пересечению сигнала с порогом в зоне контроля.

**Импульс.** Способ измерения временного интервала при измерении глубины или скорости УЗК:

«0 → а-Зона» — от нуля до сигнала в первой зоне;

«а → б-Зона» — от сигнала в первой зоне до сигнала во второй зоне контроля.

**Образец.** Толщина образца для определения скорости УЗК задается от 5 до 1000 мм с шагом 0,05 мм.

## 10. ЭКРАН

**Контраст.** Контрастность индикатора задается от 0 до 100 % с шагом 5 %.


**Подсветка.** Подсветка индикатора задается от 0 до 100 % с шагом 5 %.





**а-Масштаб.** При включении этого режима на весь экран вводится сигнал только в первой зоне контроля.


**График ВРЧ.** Включение режима вывода на экран графика ВРЧ или АРК.

## 11. РЕЗУЛЬТАТЫ






**Файл.** Выбор текущего файла результатов и индикация количества записанных в этот файл значений.

**Запомнить значение.** Для записи текущего результата измерения нажмите клавишу , выбрав этот параметр, звуковой сигнал подтвердит запись результата.


**Просмотр файла.** Для просмотра значений записанных в текущем файле результатов нажмите клавишу , выбрав этот параметр, и на экране будет выведен список результатов, содержащихся в файле. Используйте клавиши   для просмотра и клавишу  для возврата к работе.







**Очистить файл.** Удаление всех результатов, записанных в текущий файл, для этого удерживайте нажатой клавишу , выбрав этот параметр, более 10 секунд, до двойного звукового сигнала, подтверждающего удаления.


## 12. НАСТРОЙКИ





**Загрузить настройку.** Для восстановления параметров работы, ранее сохраненных в памяти, нажмите клавишу , выбрав этот параметр, и на экране появится список имен настроек. Слева от названия каждой настройки будет находиться символ папки — закрашенная папка обозначает, что под этим именем записаны параметры работы, незакрашенная — что настройка пуста. Используя клавиши  и , выберите нужную настройку и нажмите клавишу  для восстановления параметров работы или нажмите клавишу  для возврата к работе.


При работе со списком имен настроек имеется возможность редактировать названия настроек. Выбрав настройку, нажмите



клавишу  для перехода в режим редактирования, и на первом символе названия появится мигающий курсор. В этом режиме:

-  и  — изменение символа, на котором стоит курсор;
-  и  — выбор символа;
-  — отмена изменений, возврат к выбору настройки;
-  — сохранение нового названия.

**Сохранить настройку.** Для сохранения всех параметров работы и сигнала развертки в памяти нажмите клавишу , выбрав этот параметр, и на экране появится список имен настроек (см. «Загрузить настройку»).

Используя клавиши  и , выберите нужную настройку и нажмите клавишу  для записи параметров работы или нажмите клавишу  для возврата к работе.

**Загрузить рабочую.** Выбрав этот параметр и нажав клавишу , можно загрузить параметры из рабочей настройки. В этой настройке при выключении прибора автоматически сохраняются все текущие параметры работы, и из нее они автоматически загружаются при включении прибора.

Чтобы включить прибор без использования загрузки рабочей настройки, удерживайте клавишу  в момент включения прибора (во время удерживания нажатой клавиши ).

### 3.2.3. Дополнительное меню

Дополнительное меню представляет собой список, разделенный на две части: слева находятся названия параметров, справа их значение. Если курсор находится только на названии параметра — это режим выбора, если курсор находится и на значении — это режим изменения значения. Клавиши для работы с дополнительным меню:

-   — выбор и изменение значения параметра;

 — переход из режима выбора к изменению значения и обратно;

 — выход из дополнительного меню.






Таблица 3.4

















### Параметры дополнительного меню и их назначение

Параметры дополнительного меню	Функциональное назначение параметра
Режим контроля	Выбор режима проведения контроля — теневой или эхо-метод. В режиме эхо-метода дефектоскоп автоматически учитывает двойной путь ультразвукового сигнала в материале
Заполнение	Включение режима вывода сигнала на экран с заполнением. В режиме радиосигнала заполнение не работает
Сетка	Включение и выключение вывода на экран координатной сетки
Цифры	Включение вывода результата измерения на экран большими цифрами
Частота посылок	Выбор частоты посылок зондирующих импульсов: максимальный — режим максимальной частоты посылок и 20 Гц
Опорная А, dBc	Значение усиления в децибелах для отображения опорного сигнала на 100 % высоты экрана — для измерения амплитуд сигналов в режиме «А, dBc»
Амплитуда АРК, %	Амплитуда для построения графика кривой АРК
Скорость 1	Первое фиксированное значение скорости УЗК
Скорость 2	Второе фиксированное значение скорости УЗК
Скорость 3	Третье фиксированное значение скорости УЗК
Скорость 4	Четвертое фиксированное значение скорости УЗК
Развертка 1	Первое фиксированное значение развертки
Развертка 2	Второе фиксированное значение развертки
Развертка 3	Третье фиксированное значение развертки
Развертка 4	Четвертое фиксированное значение развертки
Осн. частота	Эта функция предназначена для проверки дефектоскопа (см. п. 10.7.6), и после ее выбора в течение 1 минуты на выход генератора подаются импульсы опорной частоты, уменьшенной в 1000 раз — 20 кГц

### 3.2.4. Строка статуса дефектоскопа

Над списком групп функций на экране дефектоскопа располагается строка статуса, в которой находится информация о некоторых параметрах работы прибора:

-  — включен режим «заморозки» сигнала;
-  — на экране сигнал, загруженный из настройки;
-  — включен режим «а-Масштаб»;
-  — включен раздельно-совмещенный режим;
-  — совмещенный режим включен;
- D — включен режим демпфирования генератора;
- R — включен режим входного сопротивления усилителя 50 Ом;
- 10 МГц — максимальная рабочая частота 5 МГц, 2,5 МГц и 1,25 МГц (при отключенных аналоговом и цифровом фильтрах значения выводятся в инверсной форме 5 МГц);

-  — полный детектор;
-  — положительный детектор;
-  — отрицательный детектор;
-  — радиосигнал;
-  — включена ВРЧ;
-  — режим определения дефекта в а-Зоне;
-  — режим определения дефекта в б-Зоне;
-  — режим АСД «а- и б-Зона»;
-  — режим АСД «а-Зона»;
-  — режим АСД «б-Зона»;
-  — режим АСД «а или б»;
-  — режим АСД «по APK»;
-  — измерение толщины по фронту импульса в первой зоне;
-  — измерение толщины между фронтами импульсов в зонах;
-  — измерение толщины по максимуму сигнала в первой зоне;
-  — измерение толщины между максимумами в зонах.

### **3.3. Основные блоки и функции дефектоскопа**

---

#### **3.3.1. Особенности регулировки усиления**

Значение параметра «Усиление» является относительным, т. е. это не реальный коэффициент усиления приемного тракта.

Диапазон регулировки усиления 110 дБ реализован с использованием аттенюатора на 20 дБ и регулируемого усилителя с переменным коэффициентом усиления от  $-10$  до  $+80$  дБ. Аттенюатор автоматически отключается при усилении 30 дБ, в результате чего на экране дефектоскопа в совмещенном режиме может наблюдаться некоторое изменение формы зондирующего импульса, вызванное перегрузкой усилителя в момент зондирующего импульса при отключенном аттенюаторе, что не является недостатком в работе.

Таким образом, реальное усиление приемного тракта может быть ориентировочно рассчитано как значение параметра «Усиление» минус 30 дБ. В определении абсолютного значения коэффициента усиления нет необходимости, т. к. для измерения амплитуды входных сигналов предназначен режим измерения «А, dBc».

#### **3.3.2. Приемный тракт**

Отличительной особенностью данной модели дефектоскопа является цифровая обработка радиосигнала. Это позволило реализовать идеально линейный цифровой детектор, алгоритм восстановления спектра радиосигнала для уменьшения ошибки измерения амплитуды и увеличения точности измерения временных характеристик сигналов, реализовать цифровые фильтры с линейной фазочастотной характеристикой.

Основным параметром, влияющим на характеристики цифровой обработки сигнала, является частота преобразования принимаемого сигнала в цифровую форму — основная частота дискретизации. В приборе этот параметр зависит от установленного частотного диапазона («ТРАКТ → Частота»). При обработке сигнала в дефектоскопическом режиме (определение максимума сигнала для срабатывания АСД) происходит математическое повышение частоты дискретизации в четыре раза, а при измерении временных параметров сигнала — в 8 раз.

Таблица 3.5

**Значение параметра «ТРАКТ → Частота»  
при различных режимах работы и частотах**

Режимы работы	Значение параметра «ТРАКТ → Частота»			
	10 МГц	5 МГц	2,5 МГц	1,25 МГц
Основная частота дискретизации сигнала	40 МГц	20 МГц	10 МГц	5 МГц
Эквивалентная частота дискретизации при обработке АСД	160 МГц	80 МГц	40 МГц	20 МГц
Эквивалентная частота дискретизации при измерении	320 МГц	160 МГц	80 МГц	40 МГц

### 3.3.3. Генератор импульсов возбуждения

Генератор импульсов возбуждения (зондирующих импульсов) формирует прямоугольный импульс отрицательной полярности с регулируемой длительностью от 50 до 500 нс с шагом 25 нс.

Длительность импульса возбуждения преобразователя для получения максимальной амплитуды излучаемых сигналов должна быть приблизительно равной половине периода основной частоты излучающего преобразователя. Регулировка длительности импульса возбуждения индивидуально для каж-

дого преобразователя позволяет получить оптимальное для контроля соотношение между длительностью и амплитудой излучаемых сигналов.

Преобразователи, используемые с дефектоскопом, должны иметь встроенное согласующее устройство (катушки индуктивности и т. д.). Если используются преобразователи без согласования (например, от дефектоскопа УД-2-12), к выходу генератора должно быть подключено внешнее согласующее устройство в виде индуктивности, компенсирующей емкостное сопротивление преобразователя. Если внешнее согласующее устройство в виде индуктивности, компенсирующей емкостное сопротивление преобразователя. Если внешнее согласующее устройство отсутствует, можно воспользоваться параметром «ГЗИ → Демпфер», установив режим демпфирования генератора 50 Ом, при этом будет обеспечено возбуждение преобразователя коротким однополярным импульсом.

### **3.3.4. Временная регулировка чувствительности (ВРЧ)**

Кривая ВРЧ задается по опорным точкам — от 2 (минимум) до 10.

Для каждой точки задается ее положение по времени и усиление — значение усиления является относительным, т. е. реальное усиление в этой точке будет зависеть от общего усиления и от усиления в предыдущих точках.

Максимальная скорость изменения усиления составляет 12 дБ/мкс.

Реализованная в данном приборе функция ВРЧ позволяет не только увеличивать, но и уменьшать усиление в зависимости от времени. Поэтому реальная кривая ВРЧ строится следующим образом: на кривой находится точка с минимальным усилением, и она приравнивается к общему усилению тракта, а усиление в остальных точках кривой рассчитывается как раз-



ница между заданным усилением в этой точке и минимальным усилением на кривой. Таким образом, изменяя общее усиление тракта, можно поднимать и опускать всю кривую ВРЧ.

Использование автоматического аттенюатора накладывает некоторые ограничения на диапазон изменения усиления ВРЧ. Максимальный диапазон, который может быть получен, составляет 90 дБ, но только при установке общего усиления тракта «0». Далее при увеличении усиления до 30 дБ максимальный диапазон становится равным 80 дБ и при дальнейшем увеличении усиление также уменьшается.

Начало ВРЧ всегда привязано к началу развертки, т. е. при положительном значении задержки развертки начало действия ВРЧ также задерживается.

Кривая ВРЧ может быть построена как с помощью ручного ввода каждой точки отдельно, так и по реальным сигналам. При добавлении новой точки (см. описание параметра «ВРЧ → Точка»), если ВРЧ выключена и в первой зоне имеется сигнал, превышающий уровень порога, то в качестве значения положения добавляемой точки ВРЧ берется положение максимума этого сигнала, а в качестве усиления — текущее усиление тракта. Таким образом, имея сигналы от отражателей на разной глубине и устанавливая с помощью усиления их амплитуду на одном уровне, можно автоматически построить кривую ВРЧ.

Если при добавлении новой точки ВРЧ-сигнала, превышающего уровень порога в первой зоне, нет или функция ВРЧ включена, то добавляется точка, стоящая на 10 мкс дальше и имеющая усиление на 5 дБ больше относительно последней точки ВРЧ.

### **3.3.5. Кривая «Амплитуда — Расстояние» (АРК)**

АРК — это функция, обратная функции ВРЧ. Кривая АРК строится по точкам, заданным в списке точек ВРЧ, и с использованием параметра «Амплитуда АРК, %».

При построении кривой «амплитуда — расстояние» значение усиления в точках ВРЧ трактуется как ослабление сигнала, поэтому в точке с минимальным ослаблением (усилением) амплитуда принимается равной значению параметра «Амплитуда АРК, %», а амплитуда в остальных точках рассчитывается по изменению ослабления «усиления» относительно этой точки.

При включенном режиме АСД — «по АРК» амплитуда сигнала в первой зоне сравнивается не с уровнем порога, а с амплитудой на кривой АРК в месте нахождения максимума этого сигнала, а при измерении « $H$ , dB» — измеряется отношение амплитуды сигнала и амплитуды кривой АРК. При использовании этого измерения может быть легко реализована методика оценки диаметра отражателя, если кривая АРК записана по одной АРД диаграммы преобразователя.

### **3.4. Работа дефектоскопа**

---

#### **3.4.1. Подготовка дефектоскопа к работе**

Место размещения дефектоскопа должно быть защищено от непосредственного воздействия пыли, влаги и агрессивных сред. Напряженность поля радиопомех в месте размещения дефектоскопа не должна превышать значения, нарушающего работоспособность, т. е. создающее на входе усилителя дефектоскопа напряжения, превышающее половину максимальной чувствительности. При высокой напряженности поля радиопомех должны быть приняты меры по экранированию места размещения дефектоскопа от внешнего электромагнитного поля.

Рабочее положение дефектоскопа — любое удобное.

Для исключения конденсации влаги внутри дефектоскопа при переносе его с мороза в теплое помещение необходимо выдержать дефектоскоп в помещении не менее 2 часов перед включением.

Дефектоскоп может питаться от аккумулятора или от внешнего источника питания 9 В. Если подключены аккумуляторы и блок питания, то дефектоскоп питается от блока питания, если блок питания будет отключен, дефектоскоп автоматически перейдет на питание от аккумуляторов.

Для включения (выключения) дефектоскопа нажмите клавишу и удерживайте ее нажатой не менее 3 секунд.

При включении дефектоскопа на экране появляется изображение с наименованием прибора, датой и версией программного обеспечения (рис. 3.6). Через 5 секунд дефектоскоп перейдет в рабочий режим.

При разряде аккумулятора ниже допустимого уровня на экране дефектоскопа появится изображение, представленное на рис. 3.7. После этого дефектоскоп необходимо выключить, или он сам отключится через две минуты.

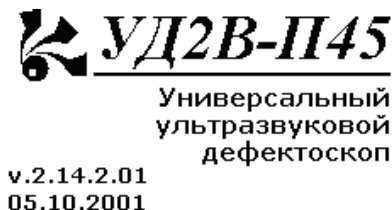


Рис. 3.6. Вид экрана дефектоскопа после включения

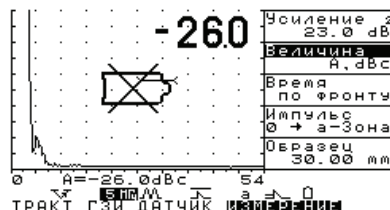
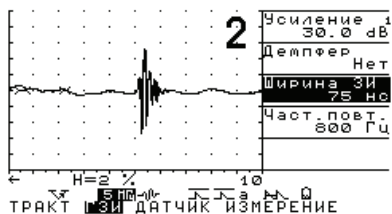


Рис. 3.7. Вид экрана при разряде аккумуляторных батарей ниже допустимого уровня

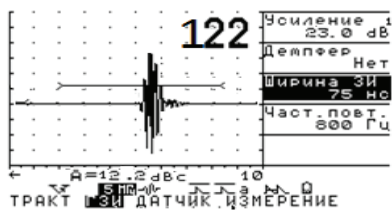
### 3.4.2. Настройка генератора для оптимального возбуждения зондирующих импульсов

В данной модели дефектоскопа предусмотрена регулировка длительности импульса возбуждения преобразователя и возможность электрического демпфирования преобразователя. Максимальная амплитуда зондирующих импульсов достигается при возбуждении преобразователя импульсом, длительность

которого равна половине периода основной частоты преобразователя. Регулировкой длительности импульса возбуждения в некоторых пределах возможна регулировка длительности зондирующего импульса. Наиболее короткий зондирующий импульс может быть получен при возбуждении преобразователя импульсом минимальной длительности или импульсом, длительность которого находится в пределах от 0,5 до 1 периода основной частоты преобразователя. На рис. 3.8, 3.9 и 3.10 приведена форма донного эхо-импульса при возбуждении преобразователя отрицательными импульсами различной длительности.



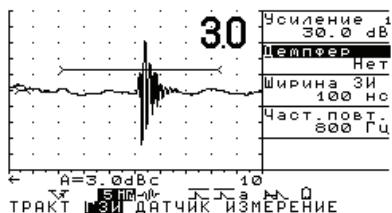
а)



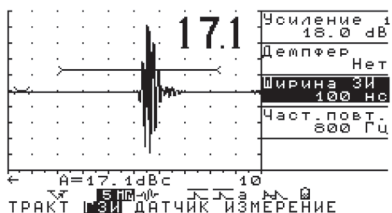
б)

Рис. 3.8. Возбуждение преобразователя П111-5-К6-В-002 импульсом длительностью 75 нс:

а) без согласующей индуктивности; б) с согласующей индуктивностью 1,1 мкГн



а)



б)

Рис. 3.9. Возбуждение преобразователя П111-5-К6-В-002 импульсом длительностью 100 нс:

а) без согласующей индуктивности; б) с согласующей индуктивностью 1,1 мкГн



Рис. 3.10. Возбуждение преобразователя П111-5-К6-В-002 импульсом длительностью 125 нс:

а) без согласующей индуктивности; б) с согласующей индуктивностью 1,1 мкГн и включенным демпфером 50 Ом

Из представленных рисунков наглядно видно, что для получения максимальной чувствительности наиболее оптимальным является возбуждение преобразователя импульсом длительностью 100 нс с использованием согласующей индуктивности (рис. 3.9, б).

А для получения максимальной разрешающей способности необходимо возбуждать преобразователь большей длительности, использовать согласующую индуктивность и демпфировать преобразователь активным сопротивлением (рис. 3.10, б). Цифровые значения на рисунках соответствуют амплитуде в децибелах относительно 1 В, а развертка по оси  $X$  соответствует 1 мкс/дел.

### 3.4.3. Измерение толщины, координат дефектов и скорости УЗК

Измерение временных интервалов является базовой функцией при измерении толщины, глубин, координат залегания дефектов — « $S$ , мм», и при измерении скорости УЗК в образце — « $V$ , м/с». Дефектоскоп позволяет измерять время распространения сигналов в диапазоне до 500 мкс с дискретностью до 0,003 мкс в зависимости от выбранного частотного диапазона. Имеется возможность измерять время прихода сигнала

по фронту — по первому пересечению сигналом уровня порога в зоне контроля (поэтому результат зависит от значения порога), или по максимуму — по положению максимального значения сигнала в зоне. Наличие двух зон контроля позволяет организовать измерение не только от запуска импульса возбуждения до прихода первого сигнала, но и между двумя импульсами — в таком режиме измерения не нужно учитывать толщину протектора преобразователя.

Глубина залегания дефекта по лучу рассчитывается как  $S = T \cdot V$ , м/с. А скорость распространения УЗК рассчитывается как  $V = O/T$ , где  $V$ , м/с — это установленная скорость УЗК («ОСНОВНЫЕ → Скорость»);  $O$  — толщина образца, на котором измеряется скорость («ИЗМЕРЕНИЕ → Образец»);  $T$  — временной интервал, который измеряется прибором в соответствии с установленными параметрами (табл. 3.6).

Таблица 3.6

**Особенности измерения прибором временного интервала  
в различных режимах работы**

Параметры	«ИЗМЕРЕНИЕ → Время»	
«ИЗМЕРЕНИЕ → Импульс»	По пику	По фронту
0 → а-Зона	$T = T_{ам} - П$	$T = T_{аф} - П$
0 → б-Зона	$T = T_{бм} - T_{ап}$	$T = T_{бф} - T_{аф}$

$T_{ам}$  — положение максимума сигнала в первой зоне контроля;  $T_{бм}$  — положение максимума сигнала во второй зоне контроля;  $T_{аф}$  — положение фронта сигнала (первого превышения сигналом уровня порога) в первой зоне;  $T_{бф}$  — положение фронта сигнала во второй зоне;  $П$  — толщина протектора преобразователя («ДАТЧИК → Протектор»);

Положительные значения параметра «Задержка» не влияют на измерения времени прихода сигнала.

При угле ввода преобразователя («ДАТЧИК → Угол ввода»), отличным от нуля, глубина по лучу преобразуется в две координаты  $X$  и  $Y$ :

$Y = S \cdot \cos(U)$  и  $X = S \cdot \sin(U)$ , где  $U$  — угол ввода.

### 3.4.4. Измерение амплитуды сигнала

Для проведения измерений амплитуд сигналов и для измерения соотношений сигналов предназначен параметр «ИЗМЕРЕНИЕ → Величина →  $A$ , dBc». Принцип измерения амплитуд сигналов заключается в определении соотношения между измеряемым сигналом и опорным сигналом известной амплитуды или от известного отражателя. Уровень опорного сигнала устанавливается в дополнительном меню в виде значения усиления приемного тракта, при котором амплитуда опорного сигнала составляет 100 % экрана дефектоскопа. Порядок установки данного значения следующий: необходимо подать на вход дефектоскопа сигнал с амплитудой, соответствующей опорному сигналу, или получить на экране импульс сигнала от опорного отражателя или данного сигнала и регулировкой усиления установить его амплитуду на 100 % высоты экрана. Полученное значение усиления записать в численном виде в дополнительном меню дефектоскопа как «Опорная  $A$ , dBc».

Дальнейшие результаты измерения амплитуды сигнала будут представлять собою отношение амплитуд измеряемого и опорного сигналов. Для наиболее точного проведения измерений рекомендуется регулировкой усиления устанавливать амплитуду сигнала на экране дефектоскопа в пределах от 30 до 100 % высоты экрана. Эта функция позволяет как производить измерение абсолютного значения входных сигналов при выборе в качестве опорного сигнала заданной амплитуды (1 В, например) с выхода генератора высокочастотных сигналов, так и определять по АРД-диаграммам преобразователей условный размер дефектов — при выборе сигнала от одного из известных отражателей или данного сигнала в качестве опорного. Кроме того, эта функция может быть использована для построения АРД-диаграмм различных преобразователей. Динамический диапазон измеряемых сигналов составляет не менее 120 дБ с учетом регулировки усиления от 0 до 100 дБ.

В приборе также предусмотрено измерение амплитуды сигнала «Н, дБ» как отношение уровня сигнала к уровню порога в первой зоне контроля или уровню АРК.

### 3.4.5. Измерение длительности и основной частоты радиоимпульсов

Особенностью данной модели дефектоскопа является возможность отображения на экране радиосигналов и возможность измерения основной частоты и длительности импульсов. На рис. 3.11 приведено изображение донного эха импульса в режиме отображения радиосигнала.

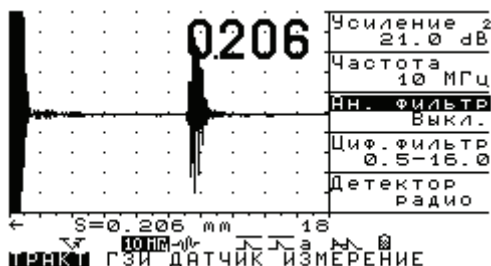


Рис. 3.11. Изображение донного эхоимпульса в виде радиосигнала

Для проведения измерения основной частоты радиоимпульса необходимо установить скорость УЗК 2000 м/с, а задержку и длительность развертки таким образом, чтобы получить максимальную разрешающую способность экрана (например, на рис. 3.12 одно деление на экране по оси  $X$  соответствует 0,1 мкс). Наибольшая разрешающая способность достигается при основной частоте приемного тракта 10 МГц и отключенных фильтрах.

Далее выбрать режим измерения « $S$ , мм» и выделить с помощью строп импульсов а- и б-зон два соседних полупериода одной



полярности. Установить режим измерения времени по фронту между импульсами в а- и б-зонах. Основная частота радиоимпульса определяется по формуле  $f = 1/T = 1/(0,209 \pm 0,003) = (4,8 \pm 0,1)$  МГц. Следует отметить, что погрешность измерения периода  $T$  в данном случае определяется основной частотой приемного тракта и составляет  $\Delta T = 1/320$  МГц = 0,003 мкс, где 320 МГц — эквивалентная частота дискретизации. Очевидно, что может быть определена и погрешность измерения основной частоты импульса преобразователя.

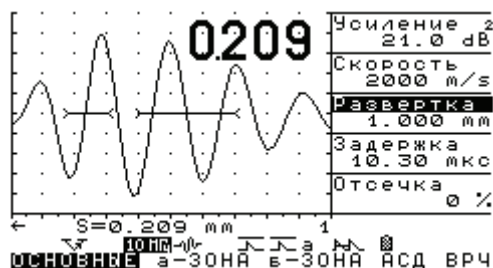


Рис. 3.12. Экран дефектоскопа при измерении периода основной частоты радиоимпульса

Аналогичным образом могут быть приведены измерения всех параметров эхоимпульса: длительность импульса, максимальное значение и временное положение как отрицательных, так и положительных полупериодов. Результаты измерений могут быть распечатаны с помощью компьютера и поставляемого с дефектоскопом программного обеспечения. При использовании внешнего аттенюатора не менее 20 дБ могут быть произведены измерения амплитуды и формы импульса возбуждения. Таким образом, могут быть выполнены все измерения и вычисления параметров преобразователей по ГОСТ 26266–90 и ГОСТ 23702–90 в диапазоне частот от 1 до 10 МГц без использования дополнительных измерительных приборов, функцию которых может выполнять измерительная система дефектоскопа.

### 3.4.6. Построение АРД-диаграмм преобразователей

Для правильной оценки размеров дефектов по амплитуде эхо-сигналов независимо от глубины необходимо пользоваться АРД диаграммами преобразователей. Некоторые преобразователи поставляются без АРД-диаграмм, а при проведении контроля возникает необходимость построения таких диаграмм или проверка АРД-диаграмм преобразователей в процессе их эксплуатации. Используя возможности дефектоскопа по измерению глубины дефектов и измерению относительной амплитуды сигналов  $A$ , дБс, АРД-диаграммы преобразователей могут быть построены достаточно просто. Для этого необходимо выбрать опорный сигнал для измерения  $A$ , дБс, (например, донный эхо-сигнал от стандартного образца СОЗ, сигнал генератора амплитудой 1 В и частотой, равной основной частоте испытуемого преобразователя). Установить скорость УЗК равной скорости в используемых образцах или 2000 М/сек (в последнем случае при измерении расстояний показания прибора будут соответствовать времени прихода сигнала от отражателя в микросекундах). Далее, используя образцы различной толщины и образцы с контрольными отражателями, расположенными на различной глубине, получают на экране эхо-сигналы от этих отражателей, устанавливая их амплитуду от 30 до 100 % высоты экрана (рис. 3.13).

С помощью регулировки положения первой зоны контроля измеряют амплитуду и временное положение сигнала путем очередного выбора режима измерения « $A$ , дБс» и « $S$ , мм» (режим измерения глубины должен быть настроен на изменение времени по максимуму сигнала в первой зоне контроля).

По полученным результатам измерений легко построить кривые зависимости амплитуды сигнала от глубины отражателя для различных типоразмеров отражателей и донного эхо-сигнала.

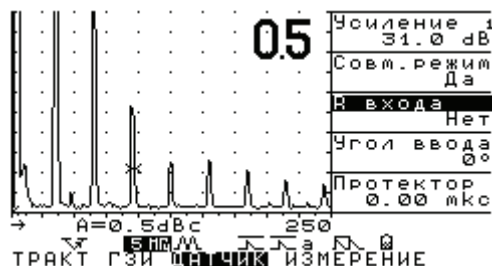


Рис. 3.13. Вид экрана дефектоскопа при измерении амплитуды третьего переотраженного эхо-импульса в образце из стали толщиной 30 мм

Аналогично может быть снята упрощенная АРД-диаграмма только для донного эхо-сигнала. Испытуемый преобразователь устанавливается на образец заданной толщины, измеряются амплитуды и временное положение многократно отраженных в образце сигналов. При этом необходимо учитывать потери при переотражении сигналов.

## 4. Ультразвуковые исследования материалов

---

### 4.1. Измерение скорости звука материалов дефектоскопом PCUS-10

---

#### 4.1.1. Скорость распространения ультразвуковых колебаний

В зависимости от упругих свойств среды в ней могут распространяться упругие колебания разных типов, отличающиеся направлением смещения колеблющихся частиц. В связи с этим различают следующие типы ультразвуковых колебаний: продольные, поперечные (сдвиговые), поверхностные, нормальные и т. д.

Продольные колебания могут распространяться в твердой, жидкой и газообразной средах, так как связаны с упругостью объема среды.

Поперечные (сдвиговые) колебания могут распространяться только в твердой среде, которая обладает упругостью формы, т. е. способна сопротивляться деформации сдвига.

Поскольку природа продольных и поперечных волн разная, то скорости их распространения определяются различными упругими константами среды и значительно отличаются друг от друга. Для неограниченной твердой среды скорость продольных волн зависит от модуля объемной упругости  $E$  (модуль Юнга), коэффициента Пуассона  $\nu$  и плотности среды  $\rho$ :

$$C_l = \sqrt{E(1 - \nu) / [\rho(1 + \nu)(1 - 2\nu)]}. \quad (4.1)$$

Скорость поперечных волн определяется модулем сдвига  $G$  и плотностью среды:

$$C_t = \sqrt{G/\rho}. \quad (4.2)$$

Коэффициент Пуассона характеризует отношение констант объемной упругости и сдвига:

$$\nu = E/2G - 1. \quad (4.3)$$

В твердом теле распространение продольной волны сопровождается распространением поперечных волн, но выделить тот или иной тип колебания возможно только при отражении и преломлении ультразвуковых волн на границе двух сред. Продольные и поперечные волны имеют различную скорость распространения, поэтому отражаться и преломляться на границе двух сред они будут под разными углами.

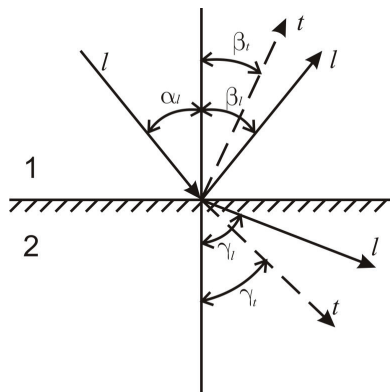


Рис. 4.1. Отражение и преломление акустической волны на границе двух твердых сред:  $l$ ,  $t$  — продольная и поперечная волна,  $\alpha_l$ ,  $\beta_l$ ,  $\beta_t$ ,  $\gamma_l$ ,  $\gamma_t$  — соответствующие углы падения, отражения и преломления

Углы падения  $\alpha_l$ , отражения  $\beta_l$ ,  $\beta_t$  и преломления  $\gamma_l$ ,  $\gamma_t$  связаны следующим соотношением:

$$\frac{\sin \alpha}{c_l} = \frac{\sin \beta_l}{c_l} = \frac{\sin \beta_t}{c_t} = \frac{\sin \gamma_l}{c_l'} = \frac{\sin \gamma_t}{c_t'}, \quad (4.4)$$

где  $c_l$  — скорость падающей и отраженной продольных волн (падающая волна может быть и поперечной в общем случае),  $c_t$  — скорость отраженной поперечной волны,  $c_l'$  — скорость прошедшей продольной волны,  $c_t'$  — скорость прошедшей поперечной волны.

Из рис. 4.1 очевидно существование некоторого критического угла падения  $\alpha_{кр.I}$ , при котором преломленные продольные волны будут распространяться в поверхностном слое, а также критического угла  $\alpha_{кр.II} > \alpha_{кр.I}$ , при котором по поверхности будут распространяться преломленные поперечные волны.

Таким образом, для углов падения  $\alpha$ , удовлетворяющих условию  $\alpha_{кр.I} < \alpha < \alpha_{кр.II}$ , в среде будут распространяться только преломленные поперечные волны. Для многих материалов  $\alpha_{кр.I} \approx 30^\circ$ ,  $\alpha_{кр.II} \approx 51^\circ$ .

#### 4.1.2. Методы измерения скорости распространения продольных и поперечных колебаний

Определение скорости распространения *продольных волн* можно осуществить при нормальном вводе УЗ-сигнала, используя прямой пьезопреобразователь и плоскопараллельный образец (рис. 4.2).

Для определения скорости распространения *поперечных волн* необходимо использовать наклонный преобразователь с углом падения  $\alpha$ , удовлетворяющим условию  $\alpha_{кр.I} < \alpha < \alpha_{кр.II}$ . В этом случае для попадания отраженной волны на преобразователь требуется направить преломляемую волну на какой-либо отражатель, например, уголкового (прямой угол образца) — рис. 4.3.

При этом следует иметь в виду, что время распространения зондирующих импульсов включает в себя время распростра-

нения продольной волны в призме преобразователя  $t_n$  и время распространения волны в образце  $t_{обр}$ . Для определения скорости распространения поперечных волн необходимо провести измерения времени распространения импульса для двух положений преобразователя, как указано на рис. 4.3.

$$C_l = 2H/t.$$

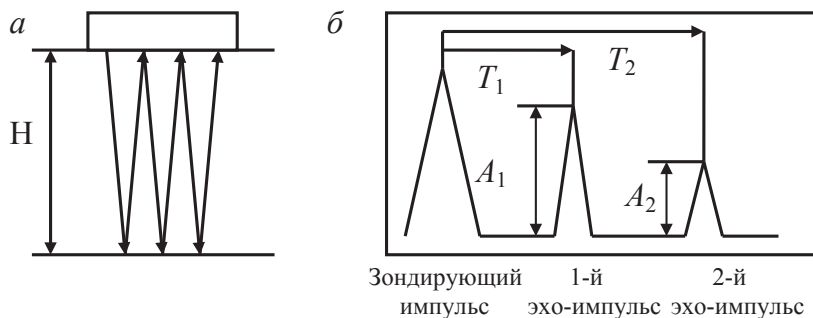


Рис. 4.2. Схема измерения (а) и изображение прямого преобразователя на экране дефектоскопа (б) при измерении скорости продольных волн

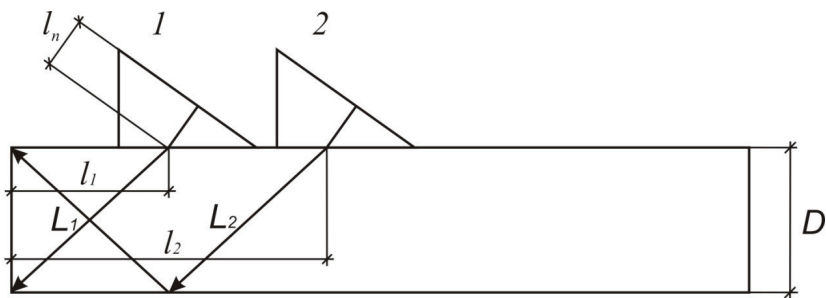


Рис. 4.3. Схема распространения поперечных волн

В положении 1 и 2 преобразователя общее время распространения зондирующих импульсов определяется соответственно как

$$t_1 = t_n + t_{\text{обр.1}} = 2l_n/C_l + 2L_1/C_t, \quad (4.5)$$

$$t_2 = t_n + t_{\text{обр.2}} = 2l_n/C_l + 2L_2/C_t, \quad (4.6)$$

где  $l_n$  — расстояние, проходимое импульсом в призме;  $L_{1,2}$  — расстояние, проходимое импульсом в образце при положении 1 и 2 преобразователя.

Вычитая (4.6) из (4.5), получим:

$$t_1 - t_2 = t_{\text{обр.2}} - t_{\text{обр.1}} = \frac{2(L_2 - L_1)}{C_t}. \quad (4.7)$$

Из формулы (4.7) по измеренным значениям  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  можно определить скорость распространения поперечных волн.

Значения  $L_1$ ,  $L_2$  легко вычислить по измеренным величинам  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $h$ .

Необходимо отметить, что во все приведенные формулы в качестве скорости ультразвука входит фазовая скорость перемещения определенной фазы бесконечной синусоидальной (монохроматической) волны.

В то же время УЗ-дефектоскоп для зондирования использует ограниченные по времени последовательности УЗ-сигналов, что приводит к существованию некоторого распределения ультразвука по частотам. В подобном случае применяется понятие групповой скорости — это скорость движения группы (цуга) волн, образующих в каждый момент времени локализованный в пространстве пакет.

В связи с тем, что для зондирования используются достаточно длинные последовательности импульсов (период следования много больше периода УЗ-колебаний), и в связи с малой дисперсионной способностью исследуемых сред можно считать групповую скорость примерно равной фазовой и использовать приведенные формулы.



### 4.1.3. Принцип действия типового импульсного УЗ-дефектоскопа

Блок-схема типового импульсного УЗ-дефектоскопа приведена на рис. 4.4.

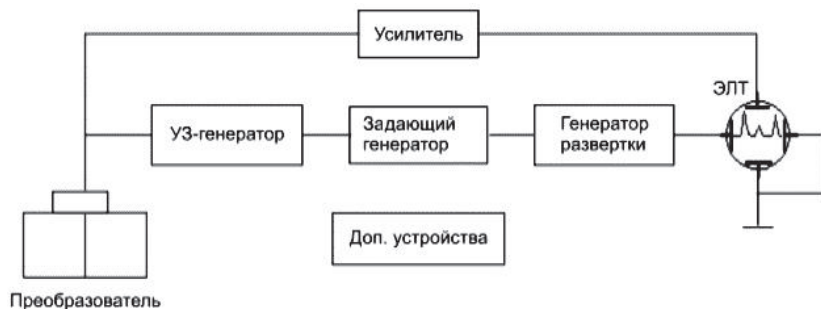


Рис. 4.4. Блок-схема типового УЗ-дефектоскопа

К дополнительным устройствам относятся глубиномер, аттенуатор, электронная лупа, автоматический сигнализатор дефектов и т. д.

Алгоритм работы дефектоскопа следующий.

Задающий генератор запускает УЗЧ-генератор и генератор развертки. Импульсы посылают один за другим через определенное время.

Общий период  $T = \tau + t$ , где пауза  $t$  больше продолжительности серии импульсов  $\tau$ , чтобы отраженные импульсы не попали на преобразователь при излучении.

Одновременно с запуском генератора на экране ЭЛТ появляется начальный (зондирующий) импульс. В период  $t$  отраженные УЗ-колебания формируют сигналы на экране ЭЛТ.

Если время прохождения луча прямо пропорционально пройденному пути, то для данного материала на экране трубки наблюдается диаграмма, по горизонтальной оси которой отложено время, пропорциональное глубине залегания дефекта,

а по вертикальной — интенсивность отраженных от дефектов импульсов, зависящая от их размеров, глубины залегания, ориентировки.

#### **4.1.4. Описание лабораторной работы № 1 «Измерение скорости распространения ультразвука в твердых телах»**

##### **1. Цели работы**

1.1. Ознакомиться с устройством серийного дефектоскопа PCUS-10.

1.2. Освоить методику измерения скорости распространения ультразвуковых волн.

1.3. Определить значения динамических упругих модулей исследуемых твердых тел.

##### **2. Описание лабораторной установки**

2.1. Лабораторная установка состоит из серийного дефектоскопа PCUS-10, комплекта пьезопреобразователей, штангенциркуля и набора образцов исследуемых материалов.

2.2. В комплект пьезопреобразователей входят совмещенные прямые и наклонные пьезопреобразователи П-111-2,5-КН; П-111-5,0-КН; П-121-1,25-40°-Н; П-121-2,5-40°-Н.

2.3. В качестве исследуемых образцов (акустической нагрузки) используются стальной и дюралюминевый образцы в форме параллелепипеда.

##### **3. Программа работы**

3.1. Ознакомиться с устройством дефектоскопа PCUS-10 и его работой в режиме контроля эхо-методом.

3.2. Ознакомиться со структурной схемой дефектоскопа PCUS-10 и с назначением пунктов меню управления. Выполнить настройку прибора с соответствии с параграфом 1.3.

3.3. Проверить работоспособность дефектоскопа. Для этого собрать схему измерения согласно рис. 4.5.

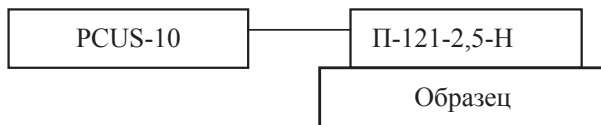


Рис. 4.5. Схема лабораторной установки

Настроить дефектоскоп для работы и получить на экране четкие изображения зондирующего, первого донного эхо-сигналов и строб-импульса.

3.4. Определить скорость распространения продольных волн.

3.4.1. Определить толщину образцов  $h$  с помощью штангенциркуля. Результаты пяти измерений занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Результаты измерения скорости распространения продольных волн**

Материал	Тип пьезопреобразователя	Номер измерений	Толщина $h$ , м	Время, мкс		Скорость распространения продольных волн
				$t_1$	$t_2$	
Сталь	П-111-2,5-КН	1				
	—»—	2				
	—»—	3				
	П-111-5,0-КН	1				
	—»—	2				
Дюралюминий	П-111-2,5-КН	1				
	—»—	2				
	—»—	3				
	П-111-5,0-КН	1				
	—»—	2				

3.4.2. Измерить время прихода первого  $t_1$  и второго  $t_2$  донных эхо-сигналов на экране дефектоскопа с использованием преобразователей разной частоты. Результаты пяти измерений  $t$  занести в табл. 4.1.

3.4.3. Рассчитать по формуле (4.8) и занести в табл. 4.1 значения скоростей распространения продольных волн в исследуемых средах для разных частот.

$$C_l = \frac{2h}{t_2 - t_1} \quad (4.8)$$

3.5. Рассчитать среднее значение скорости распространения продольных волн в образцах и оценить суммарную погрешность ее определения.

3.6. Определить скорость распространения поперечных волн.

3.6.1. Определить расстояния, проходимые ультразвуком в образце, используя формулы (4.9) и (4.10).

$$L_1 = \sqrt{h^2 + l_1^2}, \quad (4.9)$$

$$L_2 = \sqrt{4h^2 + l_2^2}, \quad (4.10)$$

где  $h$  — толщина образца;  $l_1, l_2$  — расстояния от точки ввода излучения в образец в положении 1 и 2 преобразователя до поперечной грани образца.

Данные пяти измерений и расчета занести в табл. 4.2.

3.6.2. Измерить время распространения импульса в призме преобразователя и образце ( $t_1$  и  $t_2$ ) для разных положений датчика с использованием пьезопреобразователей разной частоты. Результаты измерений занести в табл. 4.2.

3.6.3. Рассчитать по формуле (4.11) и занести в табл. 4.2. значения скоростей распространения поперечных волн в исследуемых материалах для разных частот:

$$\bar{C}_t = 2(\bar{L}_2 - \bar{L}_1) / (\bar{t}_2 - \bar{t}_1). \quad (4.11)$$

3.7. Рассчитать средние значения скоростей распространения поперечных волн в исследуемых материалах для разных частот и оценить для них суммарную погрешность.

3.8. Вычислить динамические упругие модули исследуемых материалов по формулам (4.12), (4.13), (4.14):

$$G = \rho \cdot \bar{C}_t^2, \quad (4.12)$$

$$E = \rho \cdot \bar{C}_t^2 \left( 3 - 4 \bar{C}_t^2 / \bar{C}_l^2 \right) / \left( 1 - \bar{C}_t^2 / \bar{C}_l^2 \right); \quad (4.13)$$

$$\nu = \frac{C_l^2 - 2C_t^2}{2(C_l^2 - C_t^2)}, \quad (4.14)$$

где  $G$  — модуль сдвига, Па;  $E$  — модуль Юнга, Па;  $\nu$  — коэффициент Пуассона;  $\rho$  — плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 4.2

#### Результаты измерения скорости распространения поперечных волн

Материал	Тип пьезо-преобразователя	Номер изм.	$t_1, 10^6 \text{ с}$	$t_2, 10^6 \text{ с}$	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$L_1, \text{ м}$	$L_2, \text{ м}$	Скорость распространения поперечных волн $\bar{C}_t$ , м/с
Сталь	П-121-1,25-40°-Н	1							
	—»—	2							
	—»—	3							
	П-121-2,5-40°-Н	1							
	—»—	2							
Дюралюминий	П-121-1,25-40°-Н	1							
	—»—	2							
	—»—	3							
	П-121-2,5-40°-Н	1							
	—»—	2							

## 4. Методические указания по выполнению работы

4.1. Проверка работоспособности и выполнение измерений (см. п. 3.3).

Настроить дефектоскоп для работы.

*Последовательность шагов при измерениях*

4.1.1. Запустить программу PCUSware3 с рабочего стола

PCUSware3 начинает работу с открытия файла измерений «Без имени». Логическим каналам 1...4 выделены по умолчанию точки измерений. Все параметры установлены на стандартные значения по умолчанию.

Подключаем преобразователь требуемой частоты.

#### 4.1.2. Меню: «Настройки» — «ДАнные ПЭП»

В открывшемся окне выбрать соответствующий датчик и нажать «ОК». Если база данных ПЭП пустая или используется ПЭП, параметры которого не занесены в базу данных, ввод параметров нового ПЭП производится клавишей «Добавить».

В окне «Колибр.» выставить задержку, равную 0,01.

После закрытия диалогового окна «Данные ПЭП» командой ОК данный логический канал считается настроенным, функции включения клавиш выбора канала «Р» и «СТАРТ/СТОП» становятся доступными. С этого момента можно начинать измерения.

#### 4.2. Измерение времени прихода эхо-сигналов (см. п. 3.4.2).

Установить преобразователь на поверхность образца и зафиксировать.

В панели «Сигнал» выставить «А-Начало», равное 0, «А-Ширину» — такому значению, чтобы на экране умещалось 2—3 сигнала.

На экране дефектоскопа должны быть два данных эхо-сигнала. В панели «строб» выставить «Ширину» равной 10. С помощью курсора мышки навести строб 1 так, чтобы он захватил первый сигнал.

В панели «Результат» в окне «Время» считать значение  $t_1$ .

Переместить строб 2 на второй сигнал и в поле «Время» считать значение  $t_2$ .

Переместить преобразователь в другую точку образца и провести измерение нужное число раз.

Измерение останавливается повторным нажатием клавиш [СТАРТ/СТОП] или F5.

4.3. Подсоединить другой датчик и провести действия согласно п. 4.1.б) и п. 4.2.

4.4. Заменить образец и провести действия согласно п. 4.1.б) и п. 4.2.

4.5. Поменять ПЭП.

Подключить наклонный преобразователь. Установить его на поверхности образца в соответствии с рис. 4.3.

На экране дефектоскопа должен появиться эхо-сигнал. Изменяя усиление, выбрать такое, чтобы сигнал был не меньше половины экрана.

Передвинуть преобразователь на поверхности образца до появления на экране второго сигнала.

Перемещая преобразователь, выбрать точку, где сигнал максимален. С помощью курсора мышки навести строб так, чтобы он захватил сигнал.

В панели «Результат» в окне «Время» считать значение  $t_1$ .

С помощью линейки замерить расстояние от края образца до точки выхода сигнала. Это будет расстояние  $l_1$ .

4.6. Подсоединить другой датчик и провести действия согласно п. 4.1.б) и п. 4.5.

4.7. Поменять образец и провести действия согласно п. 4.1.б) и п. 4.5.

4.8. Выход из PCUSware3.

Выход из PCUSware3 возможен через меню «Файл» — «Выход» или при нажатии комбинации клавиш ALT + F4.

Если между последним сохранением и выходом из программы проводились измерения, то появляется приглашение сохранить данные. Все установки также сохраняются в файле измерений.

Записанный файл измерений может быть загружен после запуска PCUSware3 через меню «Файл» — «Выход». Если задана опция «При окончании сохранять», при запуске PCUSware3 автоматически открывается последний файл измерений.

4.9. Выполнение расчетов (см. п. 3.5 и 3.7).

4.9.1. Рассчитать средние значения и среднеквадратичные отклонения измеренных параметров на компьютере в программе MS Excel.

Определить для скорости ультразвука доверительный интервал случайной погрешности измерения, используя распределение Стьюдента.

4.9.2. Принять для параметров длины и времени в качестве границ неисключенных систематических погрешностей основные допустимые погрешности применяемых средств измерений. Учесть, что основная допустимая погрешность для штангенциркуля равна половине наименьшего деления, для дефектоскопа PCUS-10 при измерении временных интервалов — 0,01 мкс.

4.9.3. Рассчитать неисключенную систематическую погрешность определения скорости распространения ультразвука  $C$ :

$$\Theta^{HCP} = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \Theta_i \right]^2}, \quad (4.15)$$

где  $x_i$  — измеряемые параметры;  $\Theta_i$  — неисключенные систематические погрешности измеренных параметров,  $k = 1,1$  при  $P = 0,95$ .

4.9.4. Определить суммарную погрешность измерения скорости ультразвука (ГОСТ 8.207076).

4.9.5. Результат представить в виде  $C = \bar{c} \pm \Delta C$ ,  $P = 0,95$ .

4.9.6. Расчет упругих модулей (см. п. 3.8).

Для расчета использовать табличные значения плотности стали и меди:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{стали}} &= 7800 \text{ кг/м}^3, \\ \rho_{\text{дюрал}} &= 2700 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

## 5. Содержание отчета

5.1. Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями стандарта предприятия СТП УрФУ.



## 5.2. Структура отчета.

- 1) Название и цель работы.
- 2) Описание экспериментальной установки:
  - краткая теоретическая характеристика приборов, используемых в работе;
  - структурная схема типового УЗ-дефектоскопа.
- 3) Теоретическая часть:
  - методика проведения измерений (схемы распространения ультразвука);
  - основные расчетные соотношения.
- 4) Экспериментальное исследование:
  - описание последовательности действий;
  - таблицы результатов эксперимента (ГОСТ 2.105–81).
- 5) Оценка погрешности результатов исследования:
  - методика расчета погрешности;
  - анализ результатов измерений.
- 6) Заключение.
- 7) Список использованных источников.

## 6. Контрольные вопросы

- 6.1. В чем заключается принцип действия типового УЗ-дефектоскопа?
- 6.2. Каковы физические основы эхо-метода акустического контроля?
- 6.3. Опишите типы ультразвуковых колебаний.
- 6.4. Дайте характеристику упругих модулей твердого тела.
- 6.5. Какова методика измерения скорости ультразвука?

## **4.2. Акустические свойства сред. Затухание ультразвука в материалах**

---

### **4.2.1. Причины затухания**

Затухание ультразвука — это уменьшение амплитуды и, следовательно, интенсивности звуковой волны по мере ее распространения в среде. Основными причинами затухания являются:

- 1) убывание амплитуды волны с удалением от источника, обусловленное формой и волновыми размерами источника (расхождение волны);
- 2) рассеяние звука на неоднородностях среды, которое приводит к уменьшению потока звуковой волны в первоначальном направлении;
- 3) необратимый переход энергии звуковой волны в другие формы, в частности в тепло, т. е. поглощение звука.

Первая из этих причин связана с тем, что звуковая энергия точечного источника (или любого источника конечных размеров) распределяется при расхождении волны на все увеличивающуюся поверхность волнового фронта, что приводит к уменьшению интенсивности звука. Для сферической волны, поверхность фронта которой с увеличением расстояния от источника  $r$  растет как  $r^2$ , амплитуда волны убывает пропорционально  $r^{-1}$ .

Рассеяние звука происходит на границах неоднородностей среды (например, микровключения, кристаллиты в поликристалле), что особенно заметно в случае неоднородностей, размеры которых сравнимы с длиной волны (область рэлеевского рассеяния). Здесь затухание ультразвука при неизменной частоте оказывается пропорционально четвертой степени  $d_{\text{ср}}$  (статистический размер зерна). Эта закономерность положена в основу определения структуры поликристаллических металлов и изделий из них. Кроме того, чем больше упругая анизотро-

пия вещества (упругая анизотропия — это различие в скоростях распространения звука в кристалле вдоль различных кристаллографических направлений), тем больше частичное отражение, преломление, трансформация типов волн на границах «кристаллит — кристаллит» и, следовательно, больше рассеяние. Так, ультразвук сильно затухает в меди, аустенитной коррозионно-стойкой стали. Малой упругой анизотропией характеризуются вольфрам и алюминий. Альфа-железо и углеродистая сталь относятся к промежуточным материалам в отношении величины упругой анизотропии и рассеяния. Материалы, состоящие из разнородных частиц (бетон, гранит, чугун), характеризуются большим рассеянием.

Поглощение звука может быть обусловлено различными механизмами. Большую роль играет теплопроводность среды, взаимодействие волны с тепловыми колебаниями решетки и др.

Затухание, обусловленное поглощением и рассеянием, описывается экспоненциальным законом убывания амплитуды с рассеянием. Если без учета затухания уравнение распространения звуковой волны в направлении координаты  $x$  имеет вид

$$U = U_0 e^{-j\omega t - kx}, \quad (4.16)$$

то с учетом затухания

$$U = U_0 e^{-\alpha x} e^{-j\omega t - kx}, \quad (4.17)$$

где  $\alpha = \alpha_n + \alpha_p$  — коэффициент затухания;  $\alpha_n$  — коэффициент поглощения;  $\alpha_p$  — коэффициент рассеяния.

С учетом расхождения волны в сферической системе координат уравнение имеет вид

$$U = U_0 (G/r) e^{-\alpha x} e^{-j\omega t - kr}, \quad (4.18)$$

где  $G$  — размерный коэффициент,  $m$ .

В формуле (4.18) полагается, что начало координат совпадает с эффективным акустическим центром излучателя — точкой,

из которой наблюдателю в дальней зоне волны кажутся расходящимися. Положение этой точки не совпадает с местом контакта преобразователя и материала. Положение ее можно определить, зная частоту колебаний  $f$ , скорость излучаемых волн  $C$ , диаметр пьезопреобразователя  $D$ .

#### 4.2.2. Звуковое поле дискового излучателя

Если окружающая среда однородна и изотропна, то излучатель создает в ней звуковое поле, имеющее вблизи него почти цилиндрическую форму (ближняя зона, зона дифракции Френеля), а с некоторого расстояния  $L$  — приобретающее форму усеченного конуса (рис. 4.6) с углом  $2\theta$  при вершине (дальняя зона, зона дифракции Фраунгофера).

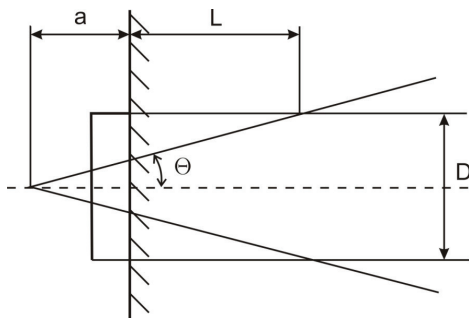


Рис. 4.6. Звуковое поле дискового излучателя

Протяженность ближней зоны может быть определена по формуле

$$L = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4C}, \quad (4.19)$$

где  $D$  — диаметр излучателя;  $\lambda$  — длина волны УЗК;  $f$  — частота УЗК;  $C$  — скорость распространения УЗК в среде.

Скорость распространения УЗК в различных средах приведена в табл. 4.3.

Таблица 4.3

**Скорость распространения продольных УЗ-волн в различных средах**

Материал	$C$ , м/с
Сталь малоуглеродистая	5850
Дюралюминий	6260
Медь	4700
Оргстекло	2670
Стекло кварцевое	5500

Половину угла раствора конуса, в котором почти полностью концентрируется генерируемая излучателем энергия, можно определить из соотношения

$$\sin \theta = 1,22\lambda/D. \quad (4.20)$$

Заметим, что, строго говоря, в пределах этого конуса интенсивность УЗК неодинакова. Этот факт находит отражение в диаграммах направленности излучателей.

Ближняя зона не может быть использована для измерения затухания, так как в ней наблюдаются интерференционные эффекты. Это накладывает ограничения на минимальную толщину исследуемых образцов.

### 4.2.3. Метод определения коэффициента затухания

Метод определения затухания основан на измерении изменения амплитуды при прохождении некоторого расстояния  $(r_2 - r_1)$ .

Для расстояния  $r_1$  формула (4.18) принимает вид

$$U_1 = U_0(G/r_1)e^{-\alpha r_1}e^{-j\omega t_1 - kr_1}, \quad (4.21)$$

для расстояния  $r_2$

$$U_2 = U_0 (G/r_2) e^{-\alpha r_2} e^{-j\omega t_1 - kr_2}. \quad (4.22)$$

Разделив (4.21) на (4.22), имеем:

$$U_1/U_2 = r_2/r_1 e^{\alpha (r_2 - r_1)} \quad (4.23)$$

(множители  $\exp(-j\omega t_1 - kr_1)$ ,  $\exp(-j\omega t_2 - kr_2)$  не влияют на амплитуду импульса, так как каждому  $r$  соответствует  $t$ , при котором  $\exp(-j\omega t - kr) = 1$ ).

Преобразуем (4.23):

$$(U_1/U_2) (r_1/r_2) = e^{\alpha (r_2 - r_1)}; \ln (U_1/U_2) - \ln (r_2/r_1) = \alpha (r_2 - r_1) \quad (4.24)$$

и окончательно получим

$$\alpha = [\ln (U_1/U_2) - \ln (r_2/r_1)]/(r_2 - r_1). \quad (4.25)$$

Обычно для измерений используют первый и второй донные импульсы. Тогда для образца толщиной  $h$ :

$$\begin{aligned} r_1 &= 2a + 2h; \\ r_2 &= 2a + 2h + 2h = 2a + 4h; \\ r_2 - r_1 &= 2h, \end{aligned} \quad (4.26)$$

где  $a$  — расстояние от поверхности до эффективного акустического центра (см. рис. 4.6).

Описанная методика определения затухания УЗК в среде не учитывает потерь при отражении импульса от контактирующей с пьезопреобразователем поверхности образца. Это может дать значительные ошибки при измерении малых  $\alpha$ .

#### **4.2.4. Описание лабораторной работы № 2 «Измерение затухания ультразвука в материалах»**

##### **1. Цели работы**

1.1. Ознакомиться с устройством ультразвукового дефектоскопа Интротест-1 М.

1.2. Освоить методику измерения затухания ультразвука в твердых телах.

1.3. Провести сравнительный анализ коэффициентов затухания в предложенных материалах.

##### **2. Используемые приборы**

При выполнении работы используются дефектоскоп Интротест-1М; прямые пьезопреобразователи с рабочими частотами 1,25 МГц; 2,5 МГц; 5 МГц, диаметрами 20, 12 и 5 мм; набор образцов для исследования и штангенциркуль.

##### **3. Программа работы**

3.1. Рассчитать минимальную толщину образцов, которые могут быть использованы для измерения затухания ультразвука в малоуглеродистой стали, меди, алюминии, оргстекле при измерениях различными преобразователями (учесть рабочую частоту и диаметр пьезопластины преобразователей). Проверить, удовлетворяют ли размеры предложенных образцов необходимым требованиям.

3.2. Рассчитать расстояние  $a$  до эффективного акустического центра для предложенных материалов и преобразователей.

3.3. Провести измерения затухания ультразвука в различных точках каждого образца. Толщину образца измерять в месте прозвучивания.

3.4. Результаты расчетов (п. 3.1, 3.2) и измерений (п. 3.3) оформить в виде таблицы. Рассчитать коэффициенты затухания исследованных образцов. Оценить погрешность измере-

ний. Коэффициенты затухания представить в виде  $\alpha = \alpha \pm \Delta\alpha$  и сравнить со справочными данными.

Таблица 4.4

**Сводная таблица расчетных и экспериментальных параметров  
для определения коэффициентов затухания**

Материал	$L$ , мм	$N_i$ , ДБ	$h_i$ , мм	$r_{1i}$	$r_{2i}$	$\alpha_i$ , $M^{-1}$

#### 4. Методические указания по выполнению работы

4.1. Толщина образцов для исследования ограничена снизу условием  $h \gg L$ , где  $L$  — протяженность ближней зоны.  $L$  может быть рассчитана по соотношению (4.19) с использованием справочной табл. 4.4.

4.2. Положение эффективного акустического центра может быть получено при помощи геометрического построения звукового поля дискового излучателя в каждом из образцов (рис. 5.1) и с использованием формул:

$$\frac{\theta}{2} = 0,5 \arcsin \left( \frac{1,22C}{Df} \right), \quad (4.27)$$

$$a = \frac{D}{2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} - L. \quad (4.28)$$

4.3. Измерения с помощью затухания проводятся прибором Интротест-1М.



4.3.1. Подготовка прибора к работе осуществляется в соответствии программой работы п. 2.3.

Для того чтобы включить прибор, нажмите кнопку «Сеть», расположенную на боковой панели прибора.

Выполняется загрузка операционной системы.

Подключить требуемый датчик через вход  $\longleftrightarrow$ . Подготовить изделие к измерению: установить контролируемый образец в положение для измерения, предварительно смазав его поверхность контактной жидкостью.

Настройка прибора осуществляется следующим образом:

Пункт «ПЭП». Выставить частоту / тип, угол ввода и время задержки для данного преобразователя в соответствии с п. 2.2.3.

Пункт «ЭКРАН». Выставить следующие параметры: «начало» равно 0; «диапазон» равен утроенной толщине контролируемого изделия; «скорость» — скорость звука в изделии (для прямых преобразователей — продольной волны, для наклонных — поперечной) в соответствии с п. 2.2.4.

Пункт «ОПЦИИ». Выставить напряжение генератора (по умолчанию 400 В).

### **Порядок работы**

Нажмите кнопку «Пуск». Установить преобразователь на поверхность изделия и в пункте «Усиление» отрегулировать высоту импульсов так, чтобы они помещались на экране. Нажать «Стоп» для того, чтобы зафиксировать изображение на экране.

Перейти в пункт «СТРОБ 1». На вопрос «Вернуть ли усиление?» ответить «Нет». Отрегулировать положение строб-маркера так, чтобы он был наведен на первый эхосигнал в соответствии с п. 2.2.2.

Повторить действия для строб-маркера 2, наведя его на второй эхосигнал, в соответствии с п. 2.2.2. Установить уровень строб-маркеров на одной высоте.

Сохранить настройки. Для этого перейти в пункт «НАСТРОЙКИ» и сохранить их под каким-нибудь именем. Если

настройки датчика и системы были ранее сохранены, то п. 4 может быть заменен выбором сохраненных настроек.

Считать показания строб-маркеров для амплитуд  $A_1$  и  $A_2$  с нижней строки экрана.

Отношение  $\ln U_1/U_2$  удобно получить, рассчитав разность амплитуд

$$N = A_1 - A_2 \text{ [дБ]}.$$

По определению:

$$N, \text{ дБ} = 20 \lg U_1/U_2 = 20/2,3 \ln U_1/U_2, \quad (4.29)$$

отсюда

$$\ln U_1/U_2 = N, \text{ дБ}/8,686 \quad (4.30)$$

4.4. Рассчитать коэффициент затухания.

4.4.1. Для каждой пары амплитуд определить разности  $N$ ,  $\ln U_1/U_2$  по формуле (4.29), значения  $r_1$  и  $r_2$  по формуле (4.26) и значения коэффициента затухания  $\alpha$  по формуле (4.25). Расчитанные значения занести в табл. 4.2.

4.4.2. Определить средние значения коэффициента затухания  $\bar{\alpha}$ , значения среднеквадратического отклонения  $\sigma_\alpha$  величины  $\alpha$  по формулам:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i \quad (4.31)$$

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n(n-1)}} \quad (4.32)$$

4.4.3. Определить случайную погрешность  $\Delta\alpha = \sigma_\alpha t_s$ , где  $t_s$  — коэффициент Стьюдента (для  $n = 5$ ,  $t_s = 2,77$  при  $p = 0,95$ ).

4.4.4. Результат представить в виде  $\alpha = \bar{\alpha} \pm \Delta\alpha$ .

## **5. Содержание отчета**

5.1. Отчет оформляется в соответствии с требованиями стандарта предприятия СТП УрФУ.

5.2. Структура отчета — по образцу.

1) Название и цель работы.

2) Описание экспериментальной установки: приборы и вычислительная техника, используемые в работе (краткая техническая характеристика).

3) Теоретическая часть:

— расчет по формулам (запись физических величин и расшифровка буквенных обозначений в формуле согласно ГОСТ 8.417–81);

— графические зависимости, используемые в расчете (выполнять согласно ГОСТ 2.319–81);

— таблица результатов расчета (ГОСТ 2.105–81).

4) Экспериментальное исследование:

— методика проведения измерений;

— экспериментально снятые зависимости, представленные графически (ГОСТ 2.319–81);

— таблица результатов эксперимента (ГОСТ 2.105–81).

5) Оценка погрешности результатов измерений:

— методика расчета погрешности;

— анализ результатов измерений.

6) Заключение.

7) Список использованных источников.

## **6. Контрольные вопросы**

6.1. Каковы физические причины затухания ультразвука в твердых телах?

6.2. Как зависит коэффициент затухания от размера неоднородностей материала?

6.3. Оцените размер зерна малоуглеродистой стали, при котором затухание УЗК на частоте  $f = 2,5$  МГц будет наибольшим.

6.4. Звуковое поле какой конфигурации создает в твердом теле дисковый излучатель?

6.5. Что такое ближняя зона Френеля и почему она непригодна для ультразвуковых исследований характеристик твердого тела?

6.6. В чем сущность метода определения величины затухания УЗК в твердых телах?

## Библиографический список

---

1. Шишмарев В. Ю. Технические измерения и приборы : учебник / В. Ю. Шишмарев. М. : Академия, 2010. 384 с.
2. Классен К. Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / К. Б. Классен. М. : Постмаркет, 2005. 352 с.
3. Фрайден Дж. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден ; под ред. Е.Л. Свинцова. М. : Техносфера, 2005. 578 с.
4. Ранеев Г. Г. Методы и средства измерений / Г. Г. Ранеев, А. П. Тарасенко. М. : Академия, 2006. 331 с.
5. Ермолов И. Н. Неразрушающий контроль. Кн. 2. Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. М. : Высшая школа, 2005. 288 с.
6. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий : справочник. Т. 2 / под ред. В. В. Ключева. М. : Машиностроение, 2004. 352 с.
7. Выборнов В. И. Ультразвуковая дефектоскопия / В. И. Выборнов. М. : Металлургия, 1985. 256 с.
8. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И. Н. Ермолов. М. : Машиностроение, 1981. 240 с.

# Оглавление

---

Введение .....	3
1. Дефектоскоп PCUS-10 .....	5
1.1. Технические характеристики .....	5
1.2. Интерфейс управления .....	7
1.2.1. Пункт меню «ФАЙЛ» .....	7
1.2.2. Пункт меню ПАРАМЕТРЫ .....	13
1.2.3. Пункт меню «НАСТРОЙКИ» .....	15
1.2.4. Пункт меню КОНТРОЛЬ.....	24
1.2.5. Пункт меню ОТЧЕТЫ.....	25
1.2.6. Пункт меню ОКНО .....	25
1.2.7. Пункт меню «ЭКРАН» .....	35
1.3. Последовательность шагов при измерении .....	36
1.4. Специальные возможности .....	38
1.4.1. Горячие клавиши .....	38
1.4.2. Специальные функции мыши.....	39
1.4.3. Задание параметров измерений .....	40
1.4.4. Операции с окнами.....	41
1.5. Окно результатов.....	43
2. Дефектоскоп Интротест-1М .....	45
2.1. Технические характеристики .....	45
2.2. Интерфейс управления .....	46
2.2.1. Пункт меню «УСИЛЕНИЕ».....	47
2.2.2. Пункт меню «СТРОБ 1» и «СТРОБ 2»....	48

2.2.4. Пункт меню «ЭКРАН» .....	50
2.2.5. Пункт меню «ВРЧ» .....	51
2.2.6. Пункт меню «ПРОСМОТР» .....	52
2.2.7. Пункт меню «ОПЦИИ» .....	53
2.2.8. Пункт меню «НАСТРОЙКИ» .....	54
2.3. Последовательность шагов при измерении .....	55
3. Дефектоскоп УД2В-П45 .....	57
3.1. Общие сведения о дефектоскопе .....	57
3.2. Интерфейс и параметры дефектоскопа .....	62
3.2.1. Система меню и клавиши .....	62
3.2.2. Параметры дефектоскопа .....	64
3.2.3. Дополнительное меню .....	73
3.2.4. Строка статуса дефектоскопа .....	75
3.3. Основные блоки и функции дефектоскопа .....	76
3.3.1. Особенности регулировки усиления .....	76
3.3.2. Приемный тракт .....	76
3.3.3. Генератор импульсов возбуждения .....	77
3.3.4. Временная регулировка чувствительности (ВРЧ) .....	78
3.3.5. Кривая «Амплитуда — Расстояние» (АРК) .....	79
3.4. Работа дефектоскопа .....	80
3.4.1. Подготовка дефектоскопа к работе .....	80
3.4.2. Настройка генератора для оптимального возбуждения зондирующих импульсов .....	81
3.4.3. Измерение толщины, координат дефектов и скорости УЗК .....	83
3.4.4. Измерение амплитуды сигнала .....	85
3.4.5. Измерение длительности и основной частоты радиоимпульсов .....	86
3.4.6. Построение АРД-диаграмм преобразователей .....	88

4. Ультразвуковые исследования материалов .....	90
4.1. Измерение скорости звука материалов дефектоскопом PCUS-10.....	90
4.1.1. Скорость распространения ультразвуковых колебаний .....	90
4.1.2. Методы измерения скорости распространения продольных и поперечных колебаний.....	92
4.1.3. Принцип действия типового импульсного УЗ-дефектоскопа.....	95
4.1.4. Описание лабораторной работы № 1 «Измерение скорости распространения ультразвука в твердых телах» .....	96
4.2. Акустические свойства сред. Затухание ультразвука в материалах.....	104
4.2.1. Причины затухания .....	104
4.2.2. Звуковое поле дискового излучателя .....	106
4.2.3. Метод определения коэффициента затухания .....	107
4.2.4. Описание лабораторной работы № 2 «Измерение затухания ультразвука в материалах» .....	109
Библиографический список .....	115



*Учебное издание*

**Зацепин Анатолий Федорович**  
**Бирюков Дмитрий Юрьевич**

**СОВРЕМЕННЫЕ  
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ  
ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Редактор Т. Е. Мерц  
Верстка О. П. Игнатьевой

Подписано в печать 02.11.2016. Формат 60×84/16.  
Бумага писчая. Печать цифровая. Гарнитура Newton.  
Уч.-изд. л. 5,1. Усл. печ. л. 7,0. Тираж 75 экз.  
Заказ 359

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8(343)375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8(343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: 8(343) 358-93-06  
E-mail: press-urfu@mail.ru



